

**REDISEÑO, Y CONTROL DE PRESIÓN DE UNA AUTOCLAVE
PARA LÍNEA DE VULCANIZADO HORIZONTAL HCV**

JOSE ALONSO PICON TRUQUE

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTADA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
SANTIAGO DE CALÍ
2006**

**REDISEÑO, Y CONTROL DE PRESIÓN DE UNA AUTOCLAVE
PARA LÍNEA DE VULCANIZADO HORIZONTAL HCV**

JOSE ALONSO PICON TRUQUE

**Pasantía para optar el título de
Ingeniero Mecatrónico**

**Docente
CARLOS EDUARDO CASTRILLÓN
Ingeniero**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
SANTIAGO DE CALÍ
2006**

Nota de aceptación:

Trabajo aprobado por el comité de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Mecatrónico.

HÉCTOR FABIO ROJAS

Jurado

JOSÉ IGNACIO PÉREZ

Jurado

Santiago de Cali, 14 de Noviembre del 2006

Dedico este trabajo primero a Dios, por darme la sabiduría semestre tras semestre y para la realización de este proyecto. A mi madre y mi padre por confiar y apoyarme incondicionalmente en todas mis actividades académicas y emocionales, a todos los profesores que contribuyeron a mi formación profesional, a mis compañeros de estudio por sus consejos que ayudaron a fortalecer mis conocimientos, a mis hermanas por quienes luché para darles buen ejemplo y a mis amigos que también creyeron en mí. Todas estas personas, y a Dios infinitas gracias por brindarme su respectivo aporte para hacer de mí un hombre maduro, noble y listo para enfrentar la vida de una forma honesta y honorable.

José Alonso Picón Truque

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos muy sinceros a todos los profesores que aportaron sus conocimientos durante nuestra formación académica, y a la memoria de mi madre por el estudio y los valores que me dio.

CONTENIDO

	Pag.
GLOSARIO	17
RESUMEN	18
INTRODUCCIÓN	19
1. JUSTIFICACIÓN	20
2. OBJETIVOS	22
2.1 OBJETIVO GENERAL	22
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
3. PLANEACIÓN DEL PROYECTO	23
3.1 PLANTEAMIENTO DE LA MISIÓN	23
3.1.1 Descripción del producto	23
3.1.2 Premisas y restricciones	23
3.1.3 Partes implicadas	24
3.2 IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES	24
3.3 ORGANIZACIÓN DE LAS NECESIDADES	25
3.4 ESPECIFICACIONES TECNICAS PREELIMINARES	26
3.4.1 Establecimiento de las necesidades con unidades métricas	26
3.4.2 Relación entre métricas y necesidades	27
3.4.3 Evaluación de la satisfacción de necesidades en productos Competidores (Benchmarking)	28
3.4.4 Evaluación de métricas en productos competidores (Benchmarking)	29
3.4.5 Asignación de valores preeliminares	30

3.5 ANTECEDENTES	31
4. GENERACIÓN DE CONCEPTOS	34
4.1 CLARIFICACIÓN DEL PROBLEMA	34
4.2 CONJUNTO DE CAJA NEGRA	34
4.2.1 Sub problemas criticos	35
4.3 EXPOSICION DE PROTOTIPOS DE CONCEPTOS GENERADOS EN LA AUTOCLAVE Y EN EL ACTUADOR DE LA VALVULA	36
5. SELECCIÓN DE CONCEPTOS	41
5.1 MATRIZ PARA EL TAMIZAJE DE CONCEPTOS	41
5.2. IMPLEMENTACION DE CONCEPTOS	43
5.3. PARTES Y FUNCIONES DE LA MAQUINA EN GENERAL DONDE SE IMPLEMENTARA EL PROYECTO	44
5.3.1 Desembobinador	44
5.3.2 Pulmón	44
5.3.3 Capstan de entrada	45
5.3.4 Extrusora	45
5.3.5 Catenaria	45
5.3.6 Autoclave de vapor	46
5.3.7 Capstan de salida	46
5.3.8 Pulmón de salida	46
5.3.9 Embobinador	46
6. DESARROLLO DE LA ARQUITECTURA DEL PRODUCTO	47
6.1. ANÁLISIS DE LA ARQUITECTURA DEL PRODUCTO	47
6.1.1. Diagrama de interacciones	47

6.2 ESQUEMA DEL PRODUCTO	48
6.3. ANÁLISIS DE INTERACCIONES	48
6.3.1. Interacciones Fundamentales	48
6.3.2. Interacciones Incidentales	49
6.4 ARQUITECTURA DEL SISTEMA ELECTRÓNICO	50
6.4.1 Programador y controlador	50
6.4.2 Fuente DC	50
6.4.3 Posicionador electroneumático	50
6.4.4 Esquema del producto	50
7. DISEÑO INDUSTRIAL	51
7.1 VALORACIÓN DEL DISEÑO INDUSTRIAL	51
7.2. CLASIFICACIÓN DEL PRODUCTO	52
7.3. VALORACIÓN DEL DISEÑO INDUSTRIAL EN LAS AUTOCLAVES	52
8. DISEÑO PARA MANUFACTURA Y ENSAMBLE	54
8.1 ANÁLISIS DE DISEÑO PARA MANUFACTURA (DPM)	54
8.1.1 Autoclave	54
8.1.2 Poleas en V	54
8.1.3 Ejes para tapa de la olla AUTOCLAVE	55
8.1.4 Base para autoclave	55
8.1.5 Base del soporte de tapa	55
8.2. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DE COSTOS	55
8.2.1. Lista de materiales y componentes.	56
9. DISEÑO PARA ENSAMBLAJE	58

9.1 PROTOTIPADO	58
9.2 DIAGRAMA DE REPRESENTACIÓN DE PROTOTIPOS	61
10. DISEÑO DETALLADO	62
10.1 CÁLCULOS PARA HALLAR EL ESFUERZO TANGENCIAL DE LA AUTOCLAVE CARGADA DE PRESIÓN	62
10.2 ESFUERZO TANGENCIAL PERMISIBLE σ_t MAXIMO	62
10.3 ESFUERZO RADIAL PERMISIBLE σ_r MAXIMO	63
10.4 ESFUERZO LONGITUDINALES σ_l	63
11. TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO EN LA AUTOCLAVE DE VAPOR	65
11.1 PUNTO DE EBULLICIÓN DEL AGUA EN FUNCIÓN DE LA PRESIÓN	65
12. TANQUE DE AUTOCLAVE SOMETIDO A PRUEVAS VIRTUALES DE PRESIÓN EN ALGOR	66
12.1 TENSIÓN VON MISES	66
12.2 TENSIÓN VON MISES	66
12.3 DEFORMACIÓN UNITARIA VON MISES	67
12.4 DISEÑO GRÁFICO DEL SISTEMA	67
13. SELECCIÓN DEL MATERIAL SEGÚN SUS CARACTERÍSTICAS	69
13.1 MATERIALES MÁS COMUNES Y SUS ESFUERZOS PERMISIBLES	69
13.2 MATERIAL ESCOGIDO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA AUTOCLAVE	69
14. SELECCIÓN DEL TUBO	70
14.1 EN LA AUTOCLAVE SEGÚN LA NORMA ASTM schedule	70
15. SELECCIÓN DE FLANGES PARA LA UNIÓN DE LA CATENARIA CON LA AUTOCLAVE DE VAPOR	71
15.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS FLANGES ESCOGIDOS	71
16. REQUERIMIENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA AUTOCLAVE DE VAPOR	72

17. AJUSTE PARA TUERCA DE FUERZA EN LA BOQUILLA DE LA AUTOCLAVE.	74
18. SELECCIÓN DE CHUMACERA O SOPORTE BRIDA CON RODAMIENTO PARA EJE DEL BRAZO DE LA TAPA	75
19. SELECCIÓN DE AJUSTES PARA LOS EJES	76
20. SELECCIÓN DE VÁLVULA DE SEGURIDAD TECVAL S.A.	77
21. SELECCIÓN DEL ACTUADOR PARA ABRIR Y CERRAR LA VÁLVULA DE BOLA A CONTROLAR	78
22. DISEÑO DEL CONTROLADOR PARA EL SISTEMA DEL ACTUADOR	80
22.1 Diseño de controlador dentro del espacio de estado	83
22.2 Diseño de un regulador por realimentación del estado mediante asignación de polos (AP)	83
22.3 EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROLADOR SE NECESITA TENER EN CUENTA LO SIGUIENTE	85
23. SELECCIÓN DEL CONTROLADOR PROGRAMABLE CON BASE A LO INVESTIGADO	88
23.1 Controlador programable	88
24. DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO	89
24.1 Fuente DC de poder	89
25. CONEXIONES DE LA VÁLVULA ACTUADORA	90
26. PROTOTIPO TERMINADO	91
26.1 VISTAS DEL PROTOTIPO TERMINADO	91
27. CONCLUSIONES	94
28. RECOMENDACIONES	95
29. FUTURAS MEJORAS	96
BIBLIOGRAFÍA	97

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pag.
Ilustración 1. Cable de potencia de una línea HV VCV en Alemania	31
Ilustración 2. Maquina vertical HV VCV en Alemania	32
Ilustración 3. Maquina horizontal HV VCV en Alemania	33
Ilustración 4. Diagrama de Caja Negra	34
Ilustración 5. Descomposición Funcional de la maquina en general	35
Ilustración 6. Sistema de cerrado con tornillo de fuerza	36
Ilustración 7. Sistema de cerrado con levas o excéntricas de fuerza	37
Ilustración 8. Sistema de cerrado con ejes de fuerza	38
Ilustración 9. Sistema de cerrado con cuñas y tuerca de fuerza	38
Ilustración 10. Sistema de cerrado de válvula piñón cremallera	39
Ilustración 11. Sistema de cerrado de válvula con polea correa	40
Ilustración 12. Sistema de cerrado de válvula piñón cremallera	40
Ilustración 13. Concepto D Finalmente Seleccionado	42
Ilustración 14. Concepto G Finalmente Seleccionado	43
Ilustración 15. Máquina HCV 312	43
Ilustración 16. Interacción entre elementos físicos y funcionales	47
Ilustración 17. Agrupación de elementos funcionales en conjuntos	48
Ilustración 18. Interacciones Incidentales	49
Ilustración 19. Esquema general del Producto por bloques funcionales	50
Ilustración 20. Valoración de diseño industrial	51
Ilustración 21. Clasificación y naturaleza del producto	52

Ilustración 22. Valoración de diseño en el producto	53
Ilustración 23. Sistema mecánico virtual de la autoclave	59
Ilustración 24. Sistema mecánico virtual de la autoclave en algor	60
Ilustración 25. Sistema de software parcial del controlador	60
Ilustración 26. Diagrama de representación de los prototipos	61
Ilustración 27. Esquemático de esfuerzo radial y tangencia	64
Ilustración 28. Esquemático de presión interna	65
Ilustración 29. Esquemático virtual del comportamiento del material internamente	66
Ilustración 30. Esquemático tensión von mises del tanque	66
Ilustración 31. Esquemático deformación unitaria von mises en el tanque	67
Ilustración 32. Estructura AUTOCLAVE	68
Ilustración 33. Tapa de la AUTOCLAVE	68
Ilustración 34. Anillo de fuerza	68
Ilustración 35. Flanges escogidos	71
Ilustración 36. Donde van los ajustes de la tuerca de fuerza	74
Ilustración 37. Características de la chumacera escogida	75
Ilustración 38. Válvula de seguridad	77
Ilustración 39. Curva de momento de giro en la válvula de bola	79
Ilustración 40. Actuador COPAR DRD-14 con su respectivo posicionador electroneumático.	79
Ilustración 41 del esfuerzo de control	81
Ilustración 42 sistema en equilibrio	81
Ilustración 43. Gráfica del control estable	83

Ilustración 44. Control sub amortiguado del sistema en un tiempo de 2,7 seg	86
Ilustración 45. Niveles inaceptables en el control de presión	87
Ilustración 46. Esquemático del programador controlador y el sensor	88
Ilustración 47. Esquemático de la fuente de Poder	89
Ilustración 48. Conexión del actuador con el controlador programable	90
Ilustración 49. Primera vista tridimensional de la autoclave terminada	91
Ilustración 50. Segunda vista tridimensional de la autoclave terminada	92
Ilustración 51. Tercera vista tridimensional de la autoclave terminada	93

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Necesidades identificadas	24
Tabla 2. Organización de las necesidades	25
Tabla 3. Necesidades Vs. unidades métricas	26
Tabla 4. Relación entre métricas y necesidades	27
Tabla 5. Evaluación de Necesidades en Otros Competidores (Benchmarking)	28
Tabla 6. Evaluación de métricas en productos competidores (Benchmarking)	29
Tabla 7. Especificaciones técnicas preliminares	30
Tabla 8 Matriz de tamizaje	41
Tabla 9 Relación de velocidad	45
Tabla 10. Lista de componentes, costos directos	56
Tabla 11 Datos de los esfuerzos permisibles Kg/cm^2 en los materiales candidatos para la construcción de la autoclave	69
Tabla 12 Datos y características del material escogido	69
Tabla 13. Características del SCHEDULE escogido	70
Tabla 14. Ajuste para la tuerca de presión en la autoclave	74
Tabla 15. Ajuste entrada suave el eje pasador del brazo y la tapa	76
Tabla 16. Ajuste entrada suave el eje pasador de la tapa	76
Tabla 17. Parámetros de funcionamiento	86

LISTA DE ANEXOS

	Pag.
Anexo A. Planos Mecánicos	99
Anexo B. Paper	110

GLOSARIO

AUTOCLAVE: Máquina para almacenamiento de vapor.

BENCHMARKING: Técnica utilizada para medir el rendimiento de un sistema o parte de un sistema, frecuentemente en comparación con algún parámetro de referencia.

CAPSTAN: Sistema reductor de velocidad para el cable que se esta elaborando.

CATENARIA: Tubo cilíndrico de alto calibre.

DPM: Diseño Para Manufactura.

DRIVERS: Unidad de control.

ENCODER: Sensor de posición y velocidad.

PLC: Programador Lógico Programable.

PULMÓN: Sistema acumulador de cable por medio de un juego de poleas.

RESUMEN

En este documento se muestra detalladamente el proceso de diseño y desarrollo de un sistema mecánico y electrónico denominado rediseño y control de una autoclave de vapor. Se identifican y se analizan las necesidades encontradas que generan la posterior investigación de antecedentes acerca de éste proyecto y otros sistemas sub actuados que permiten implementar técnicas más modernas, tales como diseño mecánico y control, además técnicas fuera de lo común, algunas implementadas a nivel industrial. A partir de lo anterior se efectúa el proceso de generación y selección de conceptos para cumplir y satisfacer las funciones y especificaciones deseadas. En éste proceso de rediseño se expone las diferentes fases como la selección de la arquitectura del producto, diseño industrial, criterios de diseño para la manufactura y ensamble. Estas fases ayudan a complementar el desarrollo de dicho proyecto, en este caso es el de la autoclave de vapor.

Adjuntamente se explica el diseño detallado de las piezas con sus respectivos planos, para esto se utilizó un programa que fue de gran ayuda para el desarrollo de tal proyecto, que me permitió desarrollar pieza por pieza en tres dimensiones con sus respectivos planos, en este caso lo más importante que me pareció del programa fue el ensamble de la maquina, permitiéndome corregir algunas dimensiones de las piezas evitando colisiones con los otros materiales, mostrándome de tal manera el producto final que se va a elaborar de una forma virtual.

En el otro caso se utilizó un programa de diseño mecánico para las pruebas hidrostáticas de la autoclave, permitiéndonos estudiar los comportamientos mecánicos de algunos materiales, para así llegar a la selección del material adecuado que cumpliera con todos los requerimientos estudiados.

El sistema electrónico explica detalladamente el funcionamiento de dichas partes que se escogieron para resolver un problema de control de presión. Se mostró la selección de los componentes tales como los planos esquemáticos de su funcionamiento.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la automatización de los procesos en grandes y medianas industrias permite agilizar la producción y a su vez la calidad del producto dando como resultado mayor eficiencia a la hora de ahorrar energía, mejor rendimiento de la maquinaria y lo mejor mayores ingresos y estabilidad económica de una empresa a mediano plazo.

Según un estudio el 95% de la automatización industrial implementan controladores PID en plataformas como los microcontroladores y PLCs.

Cuando un proceso llega a complicarse ya sea por su no linealidad, complejidad etc., y dichas técnicas de control PID no logran satisfacer completamente la automatización del proceso entonces ¿a que se recurre?. Pues bien, en este trabajo y por medio del sistema desarrollado permitirá que el estudiante, Ingeniero etc, cumpla finalmente este documento mostrando claramente el rediseño de alguna de esas técnicas usadas para la construcción y desarrollo del proyecto.

En este caso se presenta en la empresa CENTELSA un problema de ingeniería, el cual se encuentra en una de las máquinas de planta 1, dicho problema esta en una parte muy importante de la máquina, la cual produce un desperdicio de cable alrededor de los 200 metros por cada escape de vapor ocasionado en la AUTOCLAVE, este problema tiene factores de alto riesgo ya que atentan contra la vida de cualquier operario.

Se pretende resolver el problema, solucionando los escapes de vapor en la AUTOCLAVE; se quiere mejorar el sistema mecánico de la AUTOCLAVE e implementar un sistema para resolver los picos de presión.

1. JUSTIFICACIÓN

El sistema a desarrollar es un dispositivo apropiado para el análisis experimental del sistema de cierta complejidad, y constituye un recurso muy útil para la realización de prácticas de diseño e implementación de sistemas.

El problema cubre una gran variedad de aspectos de ingeniería, dentro de los cuales se encuentran estudios en : materiales de ingeniería, sistemas de control, dinámica de sistemas, diseño mecánico, entre otras herramientas tales como programas de dibujo y diseño.

Mediante este proyecto se pretende solucionar inconvenientes relacionados con tiempo y conocimientos avanzados entre otros, en el manejo de máquinas y herramientas para la producción de cables de control, etc.

Se busca aumentar el proceso de producción disminuyendo fallas de la máquina, además de hacer más eficiente el proceso de manejo tomando consideraciones como, tiempo de operación, disminución de errores humanos en el proceso, entre otros factores.

Considerando lo anterior, la implementación de un producto mecatrónico en donde se ve reflejada la necesidad de una adecuada sinergia de las respectivas ramas relacionadas en la ingeniería mecatrónica (Mecánica, Electrónica, Sistemas, Control, etc.) podrá brindar una solución global, puesto que el objetivo es elaborar un diseño concurrente que de soluciones a errores comunes como el proceso manual de los sistemas, operaciones de trabajo, manipulación de herramientas, etc; encontrando una gran ventaja en la automatización y el control que reflejará un trabajo eficiente y eficaz a los procesos repetitivos y de precisión.

El desarrollo de prototipos virtuales en 3D es de gran importancia debido a que representa la posibilidad de implementar sistemas mecánicos interactivos sin necesidad de su

construcción física, consiguiendo con ello reducción de costos y de tiempo, además brinda una idea de cómo funcionaría el prototipo físico real.

Los prototipos virtuales permiten una visualización muy cercana a la realidad de prototipos físicos; debido a esto se utilizan para el monitoreo de plantas a distancia, en las cuales podría ser peligroso la presencia física de un operario.

Se pretende solucionar el problema de la autoclave, aplicando desarrollo tecnológico para la construcción del proyecto, resolviendo de tal forma los problemas de escapes de vapor altamente peligrosos para los operarios, el desperdicio de cable y de tiempo, para la producción del mismo.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Rediseñar la **autoclave** de vapor para su nueva construcción e implementar o diseñar un sistema de control con la capacidad de controlar la presión y estabilizarla, donde el operario decida, y según el tipo de cable que se este elaborando, para así evitar escapes de vapor altamente peligrosos para el operario y pérdidas de tiempo causadas por el cambio de empaques de la autoclave.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar la fase de planeación del proyecto.
- Identificar las necesidades del operario y de la empresa.
- Establecer las especificaciones o requerimientos técnicos.
- Generar y Seleccionar el mejor concepto de diseño.
- Desarrollar el concepto seleccionado.
- Realizar un análisis detallado del proyecto.
- Determinar criterios del DPM (Diseño para Manufactura), que apoya factores o criterios como fiabilidad, robustez, entre otros.
- Realizar un diseño detallado y principio de selección de todas las partes del producto.

3. PLANEACIÓN DEL PROYECTO

3.1 PLANTEAMIENTO DE LA MISIÓN

3.1.1 El objetivo planteado consiste en implementar un sistema que sea capaz de realizar un control de presión en la catenaria de la máquina, y rediseñar la autoclave de la catenaria, éste se quiere hacer con el fin de ganar tiempo, para agilizar los procesos del operario y evitar parar el proceso a causa de un futuro daño de la AUTOCLAVE, por culpa de su desgaste y óxido tras sus largos años de trabajo.

Actualmente en la fabricación de cables para controles, **CENTELSA** cuenta con la máquina de vulcanizado horizontal continuo ROYLER (HCV) conocida internamente como **máquina 312** la cual realiza por medio de extrusoras, los aislantes del cable, para luego ser vulcanizados en la catenaria. En ésta máquina actualmente se presentan fallas tales como: constante fallas por empaques, debido a los altos picos de presión, provocando así de tal manera desperdicio de cable y pérdidas de tiempo.

Al ocurrir ésta falla del empaque en la autoclave existe un riesgo, altamente peligroso para los operarios y empleados de la planta. Éstos escapes de vapor no solo atentan contra el operario, sino que también ocasionan la pérdida de tiempo que se genera a causa de dicho problema, sumándole el desperdicio de 200 metros de cable por falla de ésta, 3 horas de tiempo perdido en el proceso con desperdicio de materiales, desgaste de la máquina y energía.

3.1.2 Premisas y restricciones Las siguientes son las premisas y restricciones que se tienen en cuenta al momento de diseñar o rediseñar el desarrollo de un producto.

- El costo final de rediseño y construcción no debe exceder \$40,000,000.
- El proyecto final debe ser robusto y fiable a pruebas de uso continuo.
- Buena estética y seguridad.

-El proyecto debe operar en un rango de temperatura aceptado (-200 a 300 °C).

3.1.3 Partes implicadas

-Usuarios (Estudiantes)

-Personal de diseño y producción.

3.2 IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES

Los datos primarios se obtuvieron por medio de entrevistas personales a docentes y auxiliares de laboratorio de la Universidad Autónoma de Occidente que están relacionados con las áreas involucradas.

Tabla 1. Necesidades identificadas

#	Datos Primarios	Interpretación de Datos Primarios
1	“Que tenga buen acabado”	El producto es estético.
2	“Que tenga borneras en las que se puedan obtener la señal de los sensores	El producto ofrece el modo de control y el modo de instrumentación.
3	“Que tenga buena documentación funcional y de mantenimiento”	El producto posee manuales de operación y mantenimiento.
4	“Que los materiales del sistema mecánico sean durables”	Que este hecho de materiales adecuados.
5	“Que se pueda manipular de diferentes formas”	Al producto se le pueden implementar diferentes tipos de controladores.
6	“Que se ajuste a los presupuestos de la empresa”	El producto no supera los \$ 40,000,000.
7	“Que haya un prototipo virtual”	El producto cuenta con un software de simulación tridimensional.
8	“Que las señales del sensor sean adecuadas”	El producto cuenta con un buen acondicionamiento y protección contra señales de ruido.
9	“Que los circuitos electrónicos estén protegidos ”	El producto esta protegido contra posibles cortocircuitos
10	“Que el sistema responda rápido”	El producto posee un tiempo de respuesta eficiente.
11	“Que los repuestos sean fáciles	Los repuestos son de fácil

	de conseguir”	consecución en el mercado.
12	“Que sea de fácil manejo para el usuario”	El producto cuenta con interfaz didáctica.
13	“Que el producto opere en condiciones normales”	El producto opera en condiciones ambientales normales.

3.3 ORGANIZACIÓN DE LAS NECESIDADES

Se agruparon las necesidades en cuatro tipos y se le dio una respectiva importancia para facilitar la realización del Benchmarking.

Tabla 2. Organización de las necesidades

#	Tipo	Necesidades	IMP.
1	Atributos Físicos	El producto es estético.	5
2	Funcionalidad	El producto ofrece el modo de control y el modo de instrumentación.	5
3	Mantenimiento/Economía	El producto posee manuales de operación y mantenimiento.	4
4	Durabilidad	El prototipo físico esta hecho de materiales durables a la corrosión	4
5	Funcionalidad	Al producto se le pueden implementar diferentes tipos de controladores.	2
6	Atributos Físicos	El producto tiene las dimensiones necesarias de acuerdo al diseño.	4
7	Mantenimiento/Economía	El producto no supere los presupuestos acordados en la empresa	5
8	Funcionalidad	El producto cuenta con un buen acondicionamiento y protección contra señales de ruido.	5
9	Funcionalidad	El producto posee una fuente de poder externa e independiente	3
10	Durabilidad	El producto esta protegido contra posibles cortocircuitos	4

11	Funcionalidad	El producto posee un tiempo de respuesta eficiente.	5
12	Funcionalidad	El producto posee etapa de potencia	3
13	Mantenimiento/Economía	Los repuestos son de fácil consecución en el mercado.	2
14	Atributos Físicos	El producto cuenta con interfaz didáctica.	4
15	Funcionalidad	El producto opera en condiciones ambientales a altas y bajas temperaturas.	5

3.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PREELIMINARES

3.4.1 Establecimiento de las necesidades con unidades métricas Se realizó un estudio de las necesidades identificadas anteriormente para encontrar parámetros cuantificables e incluso subjetivos que sirvan de guía para el diseño del dispositivo.

Tabla 3. Necesidades Vs. unidades métricas

#	Necesidades	Métricas	IMP.	Unidades
1	11,12	Consumo de potencia	5	W
2	11	Tiempo de respuesta	5	S
3	3,13	Facilidad de manejo	4	Sub.
4	7	Costo de adquisición	4	\$ COP
5	6	Dimensiones	4	Mm
6	1	Estética	5	Sub.
7	4,10	Tiempo de vida útil	3	Años
8	15	Temperatura de operación	4	°C
9	5	Técnicas de control	2	Lista1
10	14	Masa	4	Kg.

3.4.2 Relación entre métricas y necesidades

Tabla 4. Relación entre métricas y necesidades

<div> 3-Bajo 5-Medio 9-Alto </div>			Métricas	Consumo de potencia	Tiempo de respuesta	Facilidad de manejo	Costo de adquisición	Dimensiones	Estética	Tiempo de vida útil	Temperatura de operación
#	Necesidades	IMP.	#	1	2	3	4	5	6	7	8
1	El producto es estético.	5							9		
2	El producto ofrece el modo de control y el modo de instrumentación.	5				5					
3	El producto posee manuales de operación y mantenimiento.	4				5					
4	El prototipo físico esta hecho de materiales adecuados.	4								9	
5	El producto tiene las dimensiones necesarias	4						5			
6	El producto no supera los \$ 40,000,000.	5					5				
7	El producto cuenta con un software de diseño tridimensional para posibles modificaciones.	3				5					
8	El producto cuenta con un buen acondicionamiento y protección contra señales de ruido.	5								9	
9	El producto posee una fuente de poder externa e independiente	3		3							
10	El producto esta protegido contra posibles cortocircuitos	4								9	
11	El producto posee un tiempo de respuesta eficiente.	5			9						
12	El producto posee etapa de potencia	3		3							
13	Los repuestos son de fácil consecución en el mercado.	2					3				
14	El producto cuenta con interfaz didáctica.	4				5					
15	El producto opera en condiciones ambientales normales.	5									9
Total				18	45	80	31	20	45	117	45
Valores Marginales			%	3.69	9.20	16.43	6.37	4.01	9.14	24.02	9.14
											401
											82

3.4.3 Evaluación de la satisfacción de necesidades en productos competidores (Benchmarking)

Tabla 5. Evaluación de Necesidades en Otros Competidores (Benchmarking)

#	NECESIDADES	IMP .	MIT	QUANSE R	TQ inc	LMI
1	El producto es estético.	5	3	3	3	3
2	El producto ofrece el modo de control y el modo de instrumentación.	5	3	5	3	2
3	El producto posee manuales de operación y mantenimiento.	4	4	5	4	4
4	El prototipo físico esta hecho de materiales adecuados.	4	4	4	4	4
5	El producto no supera los costos acordados	5	5	2	3	4
6	El producto cuenta con un buen acondicionamiento y protección contra señales de ruido.	5	5	5	5	5
7	El producto posee una fuente de poder externa e independiente	3	2	4	3	2
8	El producto esta protegido contra posibles cortocircuitos	4	4	4	4	4
9	El producto posee un tiempo de respuesta eficiente.	5	5	5	5	5
10	El producto posee etapa de potencia	3	3	4	3	2
11	Los repuestos son de fácil consecución en el mercado.	2	4	5	5	4
12	El producto cuenta con interfaz didáctica.	4	3	2	4	2
13	El producto opera en condiciones ambientales normales.	5	5	5	5	5

3.4.4 Evaluación de métricas en productos competidores (Benchmarking)

Tabla 6. Evaluación de métricas en productos competidores (Benchmarking)

#	Necesidad	Métrica	IMP.	Unidad	MIT	QUANSER
1	11,12	Consumo de potencia	5	w	12	12
2	11	Tiempo de respuesta	5	s	3	3
3	3,13	Facilidad de manejo	4	Sub.	3	3
5	7	Costo de adquisición	4	\$ COP	-	40.000.000
6	6	Dimensiones	4	mm	-	-
7	1	Estética	5	Sub.	3	3
8	4,10	Tiempo de vida útil	3	Años	-	-
10	15	Temperatura de operación	4	°C	-	215
11	5	Técnicas de control	2	Lista1	Lista1	Lista1
12	14	Masa	4	Kg.	-	-

3.4.5 Asignación de valores preeliminares

Tabla 7. Especificaciones técnicas preliminares

#	Necesidad	Métrica	IMP.	Unidad	Valor
1	11,12	Consumo de potencia	3	w	15
2	11	Tiempo de respuesta	5	s	3
3	3,13	Facilidad de manejo	4	Sub.	3
4	7	Costo de adquisición	4	\$ COP	40.000.000
5	6	Dimensiones	4	mm.	-
6	1	Estética	5	Sub.	4
7	4,10	Tiempo de vida útil	3	Años	40
8	15	Temperatura de operación	4	°C	215
9	5	Técnicas de control	2	Lista1	-
10	14	Masa	4	Kg.	4

3.5 ANTECEDENTES

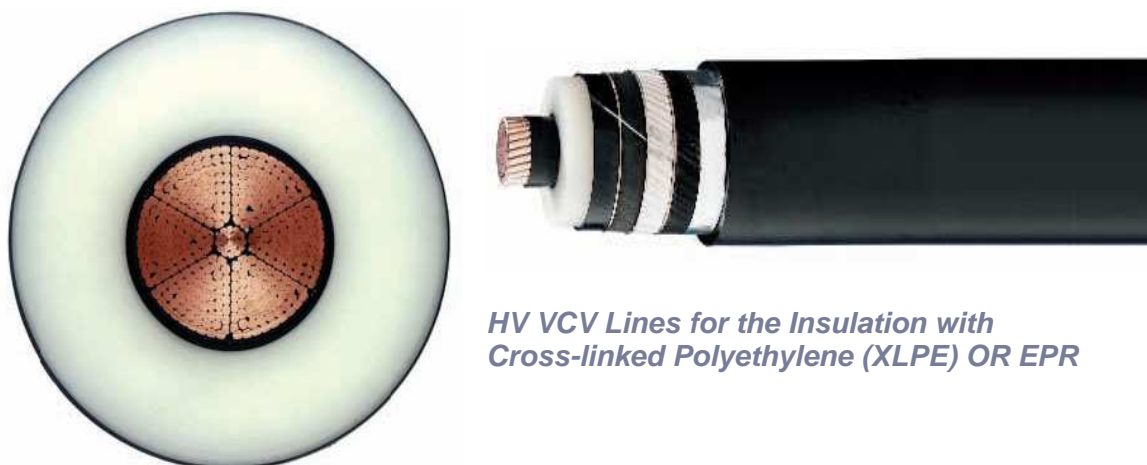
Según las investigaciones en Colombia no existe ninguna industria capacitada en este tipo de autoclaves para altas presiones; de hecho en Estados Unidos se encontró una empresa que cumple con los requerimientos adecuados para la construcción de dicha máquina.

Existen algunas configuraciones mecánicas sobre la construcción de la AUTOCLAVE, dos de ellas son: un sistema similar a las autoclaves de esterilización en biomedicina y el otro sistema es de tipo industrial para hacer vulcanizados o almacenamiento de vapor para cualquier función en especial.

Actualmente los desarrollos más determinantes en el concepto de este proyecto se han dado de acuerdo a las máquinas mas modernas tales como las curadoras en seco HCV o Curadoras de vapor. Estas máquinas tiene como función de recubrir el cable con polímeros especiales por medio de extrusoras, para luego ser vulcanizado por una catenaria, donde se encuentra vapor y agua o nitrógeno y agua, formando una presión de tal manera que el aislante se adhiera bien al material conductor .

Todo este proceso se hace para obtener el siguiente conductor o cable de potencia:

Ilustración 1. Cable de potencia de una línea HV VCV en Alemania



*HV VCV Lines for the Insulation with
Cross-linked Polyethylene (XLPE) OR EPR*

Ilustración 2. Maquina vertical HV VCV en Alemania

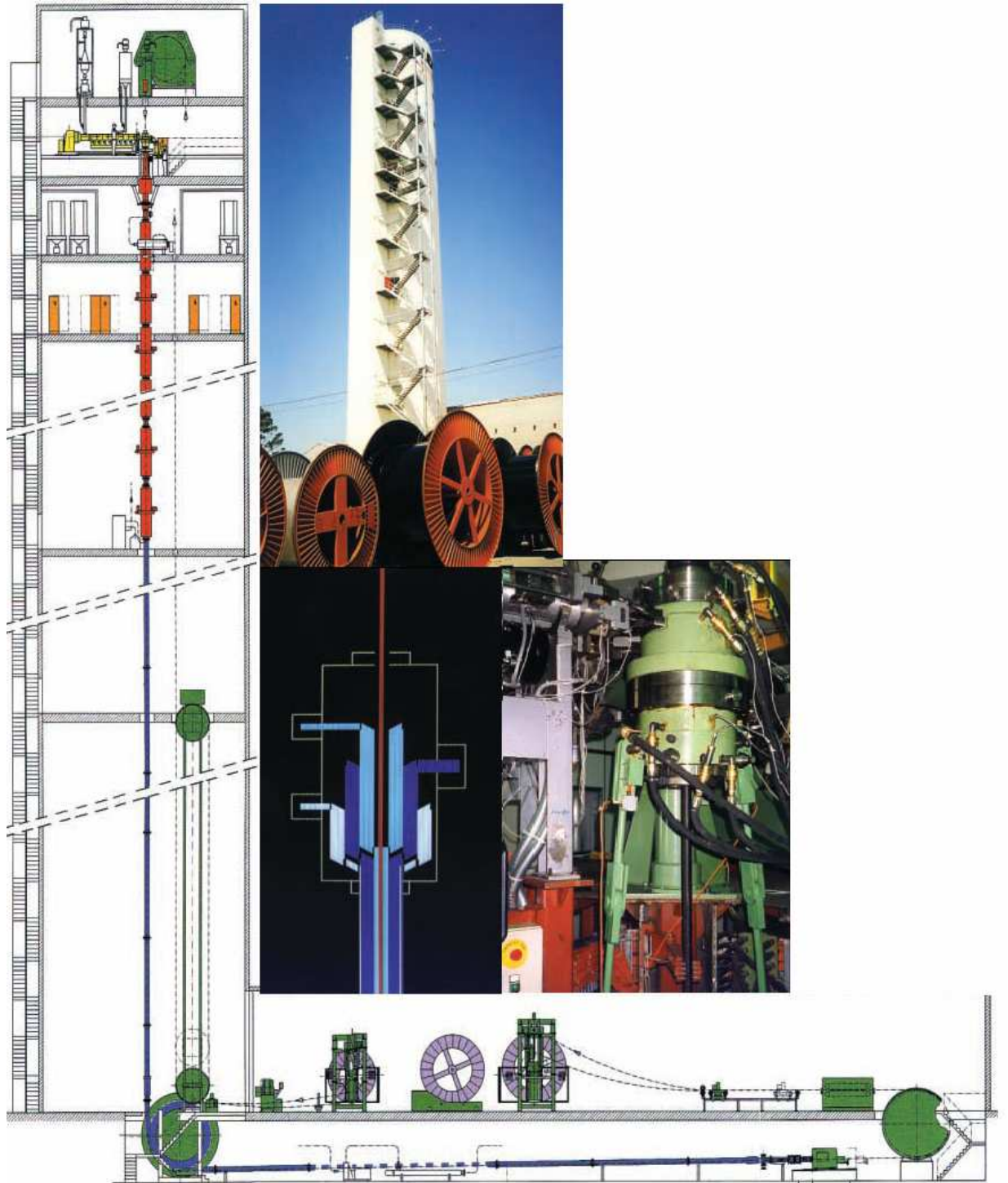
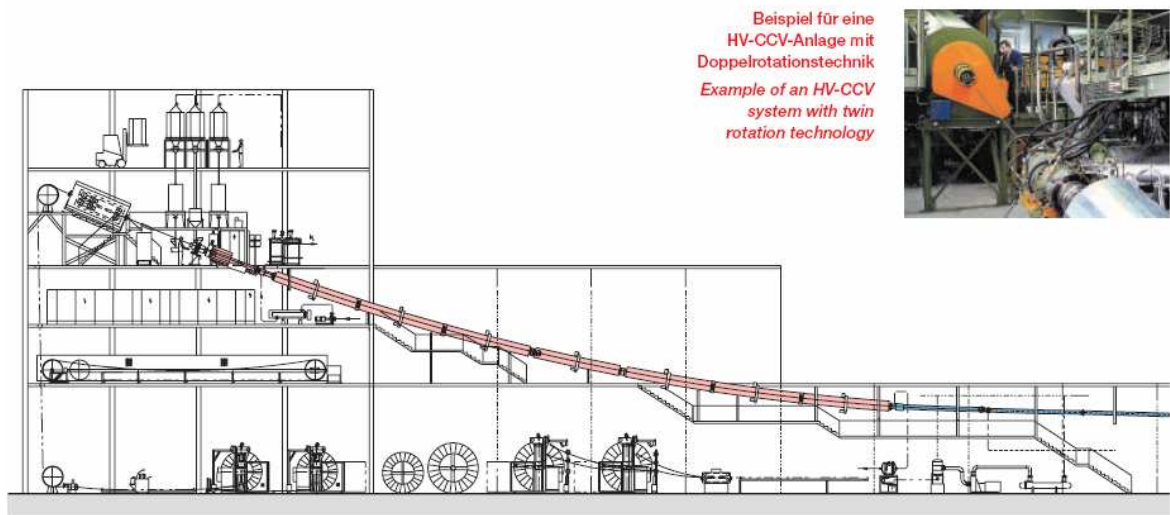


Ilustración 3. Máquina horizontal HV VCV en Alemania



Normalmente en las industrias alemanas utilizan estas máquinas para la fabricación de cables de potencia utilizando la catenaria vertical u horizontal como lo muestran las anteriores ilustraciones 1 y 2.

Pero en este caso se está trabajando con una HCV horizontal a vapor donde se utiliza una AUTOCLAVE para darle el cambio de dirección a la catenaria y al cable que se está elaborando para luego ir al tanque de sellado pasar al secador y luego al embobinador.

4. GENERACIÓN DE CONCEPTOS

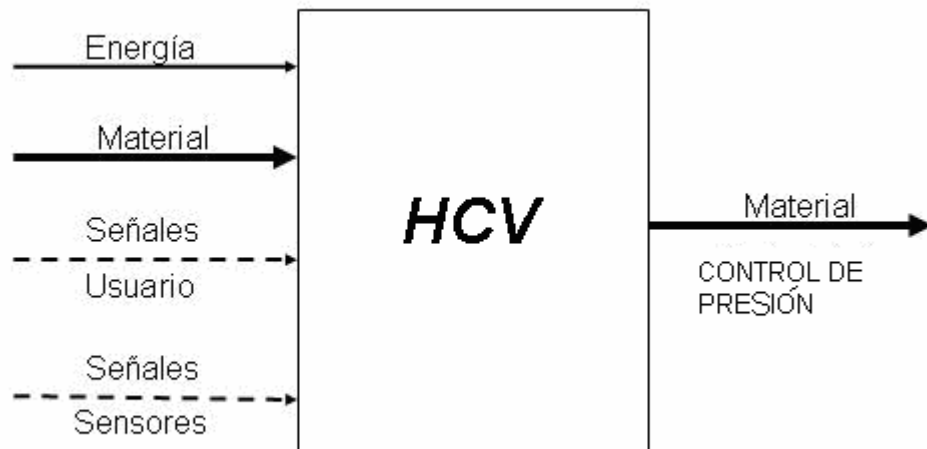
4.1 CLASIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En esta fase se ha descompuesto el problema en distintas funciones para facilitar su comprensión, de esta manera se identificaron las ramas críticas para generar conceptos a través de búsquedas internas y externas como por ejemplo páginas Web que documenten el desarrollo de sistemas similares, entrevistas a profesores referentes al área, además de ideas generadas al interior del grupo de trabajo.

4.2 CONJUNTO DE CAJA NEGRA

En esta etapa se afronta el problema como una caja negra en la cual se conoce las entradas y su salida, sin embargo se desconoce lo que internamente debe ocurrir para lograr la salida deseada, esto conlleva a la siguiente etapa que consiste en conocer el interior de la caja negra por medio de la descomposición funcional.

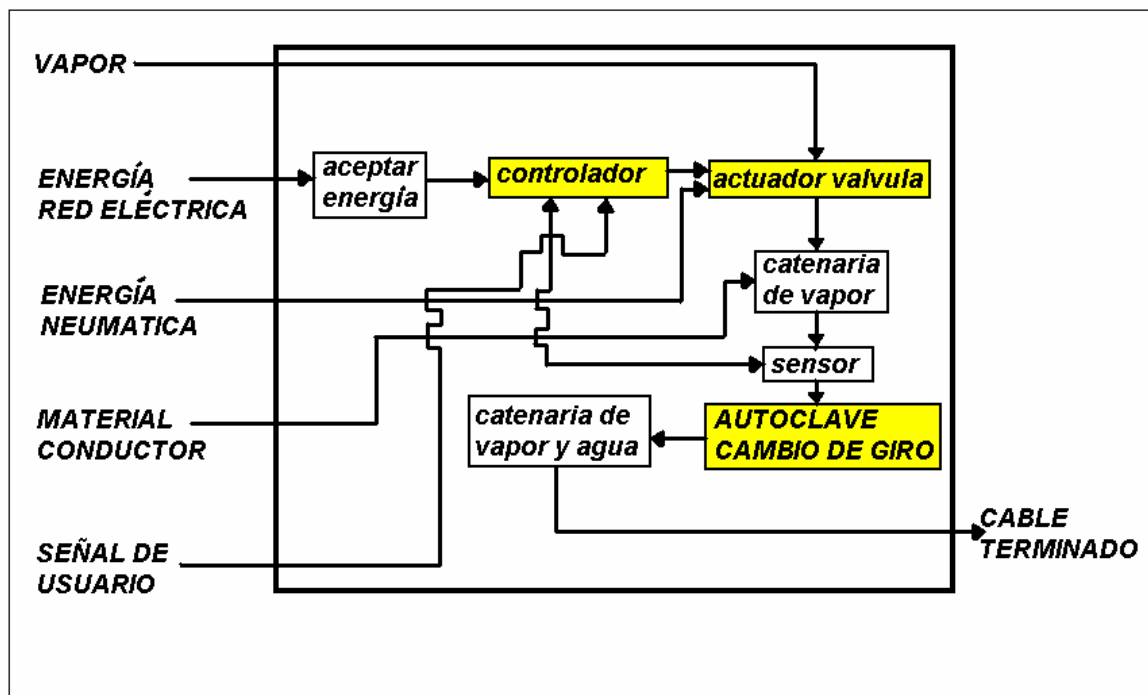
Ilustración 4. Diagrama de Caja Negra



En la descomposición funcional se analizan las funciones que debe cumplir la planta o máquina para realizar la tarea por la cual fue diseñada, además se analizan como interactúan y se relacionan cada una de las funciones para lograr la tarea programada.

Esto conlleva a determinar las subfunciones críticas que permitan la generación de conceptos de modo que cada subfunción sea solucionada de la mejor manera.

Ilustración 5. Descomposición Funcional de la máquina en general:



La ilustración 5 muestra desde el flujo de entradas al sistema, la relación de las subfunciones internas de la caja negra hasta el flujo de salida. Además los recuadros amarillos ilustran las subfunciones críticas.

4.2.1 Sub -problemas Críticos. A partir del análisis de la descomposición funcional encontramos tres sub-sistemas críticos de estudio.

I. Autoclave de vapor.

Este subsistema tiene como objetivo general, acumular la presión de vapor de la catenaria, para luego dar el cambio de giro al cable que transita por el tubo de la catenaria.

II. Controlador.

Este subsistema como su nombre lo menciona es el encargado del procesamiento del control del sistema, ordenando el debido proceso de abrir y cerrar la válvula para poder estabilizar la presión.

III. Actuador de la válvula.

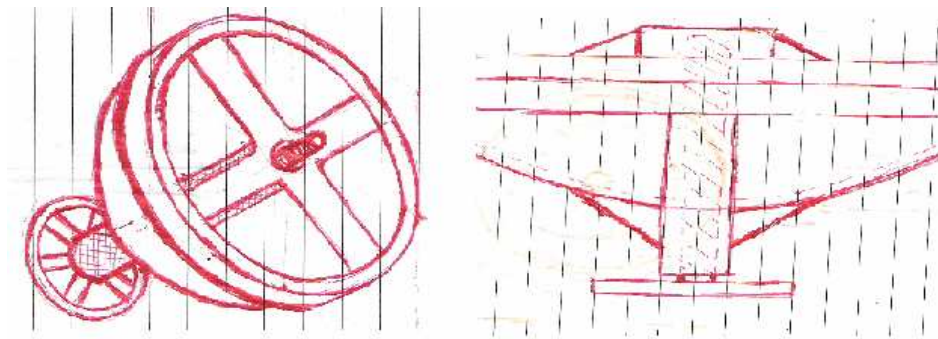
Este subsistema tiene como objetivo, tomar la orden suministrada por el controlador para luego transformar la energía neumática en energía rotacional.

4.3 EXPOSICION DE PROTOTIPOS DE CONCEPTOS GENERADOS EN LA AUTOCLAVE Y EN EL ACTUADOR DE LA VÁLVULA

-A. Tornillo de fuerza – empaque – válvula de alivio

Este prototipo consta de un tornillo central, como vemos en la ilustración 6, que es el encargado de cerrar la tapa de la autoclave, roscando de tal manera en el interior de la estructura de la olla, para luego generar una fuerza de aplastamiento entre la tapa y la olla. Entre la tapa y la olla debe de tener sus respectivos empaques con su válvula de alivio para evitar concentraciones altas de presión.

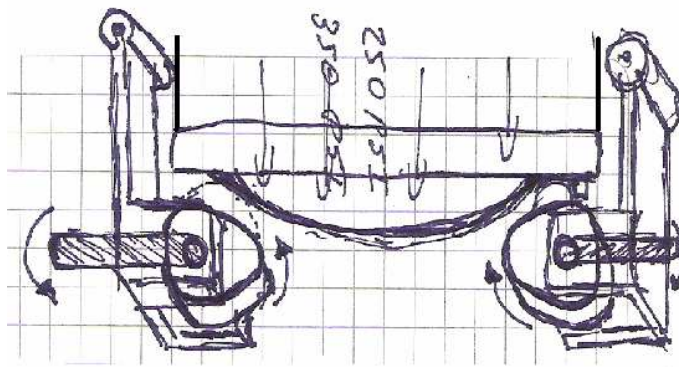
Ilustración 6. Sistema de cerrado con tornillo de fuerza



-B. Levas o excéntricas de fuerza – empaque – válvula de alivio

Este prototipo consta de 4 levas o excéntricas de fuerza, que son las encargadas de cerrar la tapa de la autoclave, como vemos en la ilustración 7, estas levas generan una fuerza sobre la tapa de la autoclave y luego la empuja hacia la olla, provocando una fuerza de aplastamiento. Entre la tapa y la olla debe de tener sus respectivos empaques con su válvula de alivio para evitar concentraciones altas de presión.

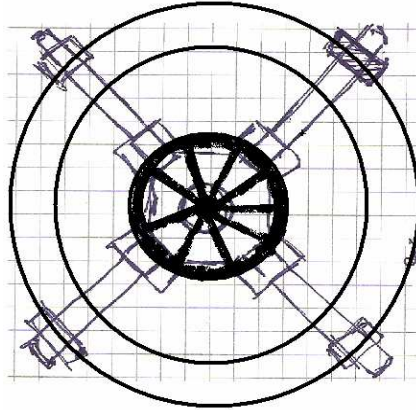
Ilustración 7. Sistema de cerrado con levas o excéntricas de fuerza



-C. Ejes de fuerza – empaque – válvula de alivio

Este prototipo consta de 4 o de mas ejes, que van sujetos por una tuerca central y un tornillo central, como vemos en la ilustración 8, que a medida que avanza la rosca en diferente sentido, los ejes se empotran en la base de la olla generando una conicidad de ajuste entre la tapa y la olla. Entre la tapa y la olla debe de tener sus respectivos empaques con su válvula de alivio para evitar concentraciones altas de presión.

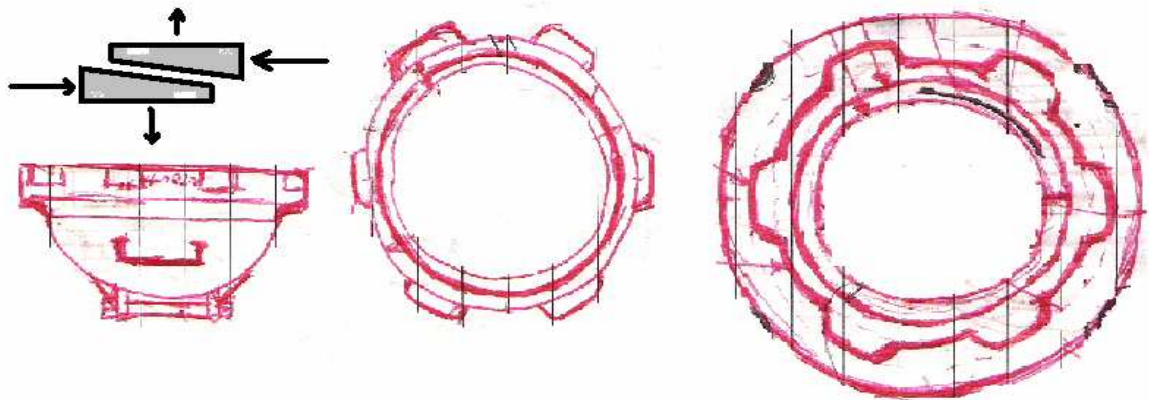
Ilustración 8. Sistema de cerrado con ejes de fuerza



-D. Tuerca y cuñas de fuerza – empaque – válvula de alivio

Este prototipo consta de 6 cuñas en la tapa y 6 cuñas en la tuerca de fuerza que va anclada a la olla, este sistema cierra y abre la tapa de una manera más rápida, el cerrado de este tipo es por medio de cuñas que se encuentran entre si de forma contraria, como vemos en la ilustración 9, produciendo un esfuerzo de aplastamiento entre la tapa y la olla, también otro esfuerzo cortante entre la tapa y la tuerca de fuerza. Entre la tapa y la olla debe de tener sus respectivos empaques con su válvula de alivio para evitar concentraciones altas de presión.

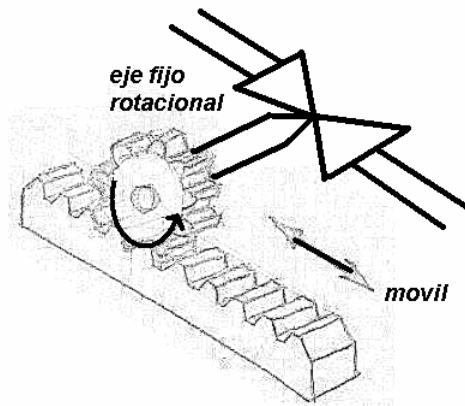
Ilustración 9. Sistema de cerrado con cuñas y tuerca de fuerza



-E. Cremallera Piñón → Encoder → PC

Este prototipo consta de un Cremallera y un Piñón, como vemos en la ilustración 10, esta cremallera es la encargada por medio de un pistón de darle movimiento rotacional a un piñón para luego ser transmitido a la válvula de paso. Un encoder instalado en el eje de la válvula. El control del sistema lo haría un PC. En la ilustración 7 se exponen algunos bosquejos hechos a lápiz del concepto mencionado.

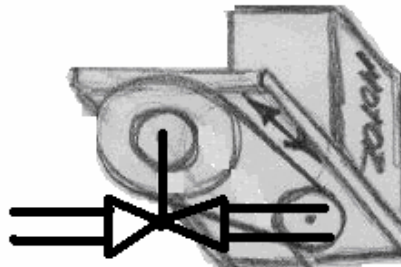
Ilustración 10. Sistema de cerrado de válvula piñón cremallera



-F. Polea Correa → Encoder → PLC

La transmisión en este concepto esta dada por Polea-Correa dentada, y a su vez utilizando una polea dentada en un encoder se sensaría la posición, como en la ilustración 11 haciendo el control con un programador lógico controlable (PLC).

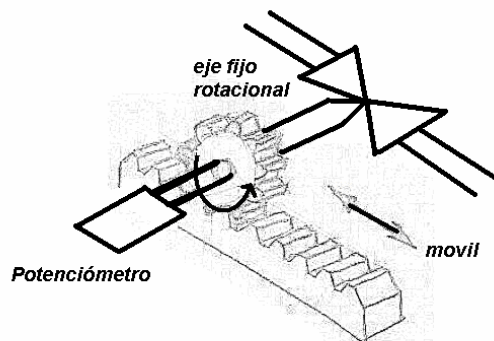
Ilustración 11. Sistema de cerrado de válvula con polea correa



-G. Cremallera Piñón → Potenciómetro → Controlador

Este prototipo consta de una Cremallera y un Piñón, esta cremallera es la encargada por medio de un pistón de darle movimiento rotacional a un piñón para luego ser transmitido a la válvula de paso. Un potenciómetro instalado en el eje de la válvula, como vemos en la ilustración 12. Un controlador programable para su función.

Ilustración 12. Sistema de cerrado de válvula piñón cremallera



5. SELECCIÓN DE CONCEPTOS

De la Generación de Concepto resultó una lista grande de combinaciones; esta lista tuvo que ser reducida a las posibles soluciones combinadas posibles de desarrollar. Los conceptos y razones para eliminar las soluciones no apropiadas se basaron en la economía, tecnología compleja, aplicación y disponibilidad de tecnología en esta región.

Nuestro criterio de la selección donde las necesidades más pertinentes que tenían que estar a la mano para desarrollar un dispositivo que satisfaga las necesidades del cliente por tanto se elaboró una matriz para el tamizaje de conceptos y así evaluar los mismos.

5.1 MATRIZ PARA EL TAMIZAJE DE CONCEPTOS

Tabla 8. Matriz de tamizaje

0 : “Igual que”

+: “Mejor que”

-: “Peor que”

VARIANTES DE CONCEPTOS.

Criterio de selección	A	B	C	D	E	F	G	Ref
Ciclos de trabajo	-	-	+	+	+	-	+	+
Velocidad proceso	0	+	+	+	+	+	+	+
Resolución	+	-	0	0	0	-	0	+
Costo	0	0	+	0	+	+	+	-
Consumo de	0	0	0	0	0	0	0	-
Potencia	0	0	0	0	0	0	0	-
Uso fácil e intuitivo	-	+	-	+	-	-	+	0
Suma “+”	1	2	3	3	3	2	4	
Suma “0”	3	2	2	3	2	1	2	
Suma “-”	2	2	1	0	1	3	0	
Total	-1	0	2	3	2	-1	4	
ORDEN	5	3	2	1	2	6	1	
Continuar?	No	No	Revise	Si	Revise	No	Si	

A partir de la tabla anterior encontramos que el concepto más apropiado para continuar con el desarrollo del producto es el concepto **D** y **G**. Una vez seleccionado el concepto se elaboró un modelo en 3D (Ilustración 10) con el fin de afianzar el concepto **D** y (Ilustración 11) con el fin de afianzar el concepto **G**.

Ilustración 13. Concepto D Finalmente Seleccionado

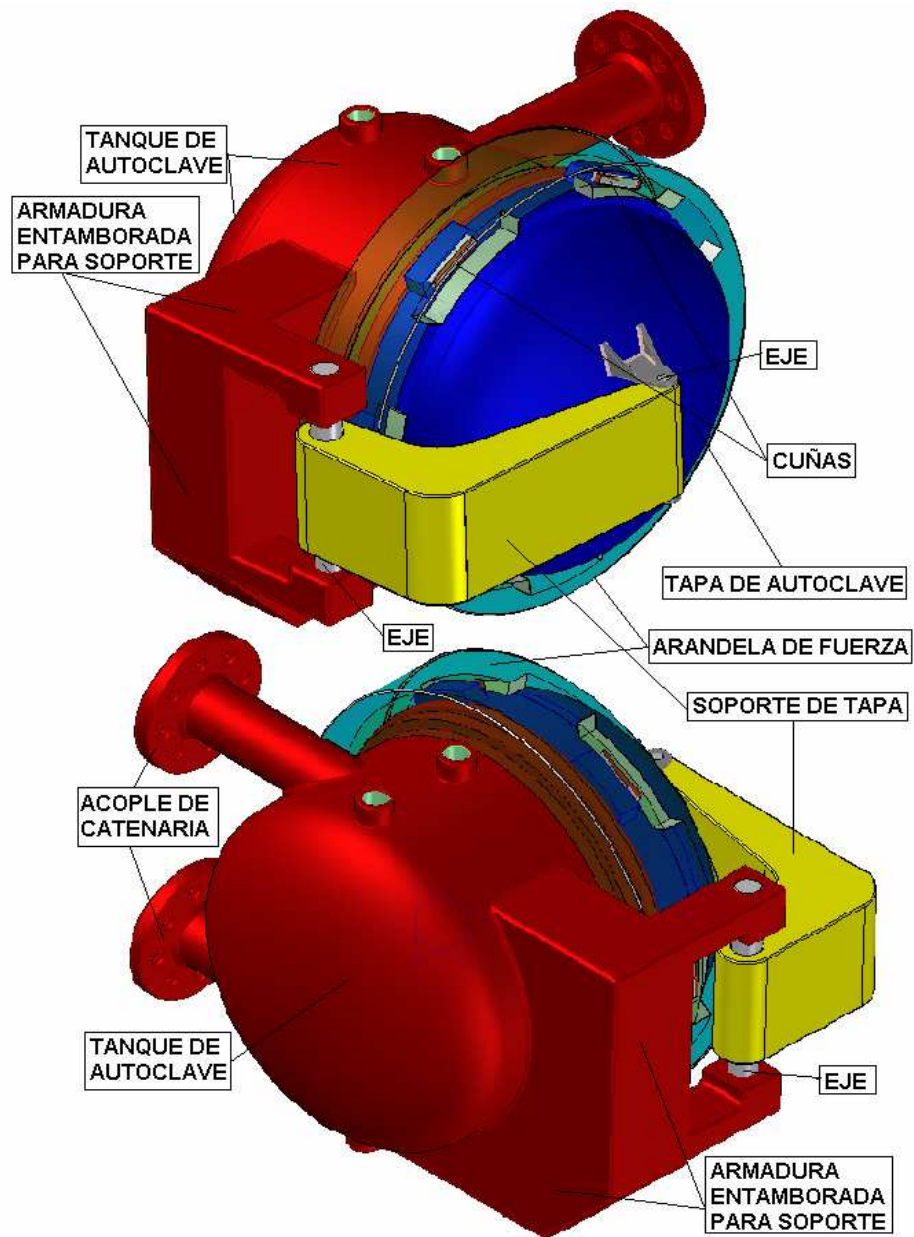
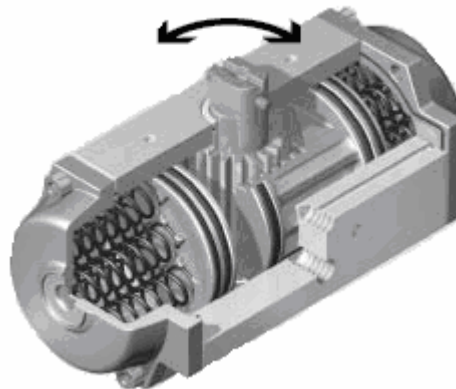


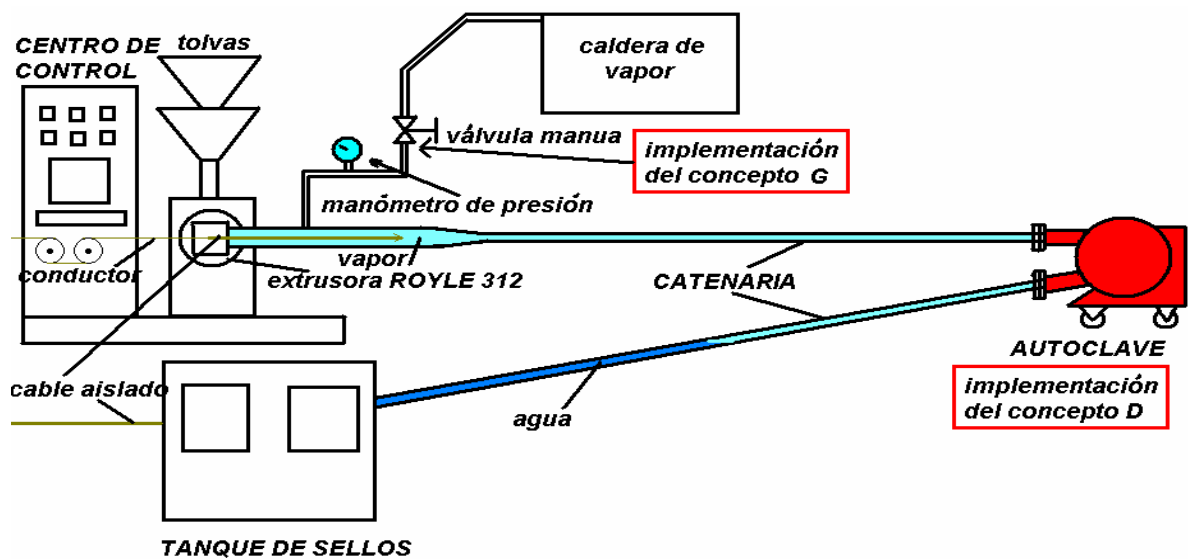
Ilustración 14. Concepto G Finalmente Seleccionado



5.2. IMPLEMENTACIÓN DE CONCEPTOS

Estos dos conceptos finalmente se implementarán en la máquina HCV 312 de tal forma que automatizarán el funcionamiento de la planta, ver en la (ilustración 12) la ubicación de los dos conceptos seleccionados.

Ilustración 15. Máquina HCV 312



5.3. PARTES Y FUNCIONES DE LA MÁQUINA EN GENERAL DONDE SE IMPLEMENTARÁ EL PROYECTO

La máquina ROYLE HCV identificada internamente 312 tiene como objetivo extruir; que consiste en la conversión de plástico en forma de gránulos, volviéndose una masa homogénea, en la aplicación de este la masa fundida se inyecta uniformemente sobre el conductor o cable.

La maquina consta de:

- **Desembobinador**
- **Pulmón**
- **Capstan**
- **Extrusora 3 1/2**
- **Catenaria**
- **AUTOCLAVE**
- **Capstan**
- **Pulmón**
- **Embobinador**

5.3.1 Desembobinador : Posee dos desembobinadores en forma de caballetes, accionados por sistemas neumáticos para levantar las bobinas. El cierre de las pinolas se hacen en forma manual su capacidad de ancho de la bobinas es de 75 cm.

5.3.2 Pulmón : Su función es de permitir el paso de cable hacia la extrusora, posee 22 poleas de 380mm de diámetro aproximadamente, 11 poleas ubicadas en un eje fijo y las otras 11 en un eje móvil que se desplaza en sentido horizontal, proporcionando material y tiempo, para permitir el cambio de bobina de alineación sin parar la máquina.

5.3.3 Capstan de entrada : La función del capstan es de dar la velocidad lineal a la máquina. Este, esta formado por una polea de 62 cm aproximadamente y se encuentra entre el pulmón y la extrusora. También posee una caja reductora de velocidades con las siguientes relaciones.

Tabla 9 Relación de velocidad

<i>VUELTAS</i>	<i>MOTOR</i>	<i>VUELTAS DEL REDUCTOR</i>
<i>PRIMERA</i>	<i>4.01</i>	<i>1</i>
<i>SEGUNDA</i>	<i>3.03</i>	<i>1</i>
<i>TERCERA</i>	<i>1.82</i>	<i>1</i>
<i>CUARTA</i>	<i>1.00</i>	<i>1</i>

5.3.4 Extrusora : La función de la extrusora es colocar sobre el conductor el aislante de polímeros especiales o del material que se le asigne al cable.

PRINCIPALES DIMENSIONES DE LA EXTRUSORA SON :

Diámetro del tornillo 88.9 mm

Longitud del tornillo 1422.4 mm

Relación (LYD) 16/1

Refrigeración del tornillo: agua

Refrigeración de cilindro: agua

5.3.5 Catenaria : Su función principal es de de almacenamiento de agua y vapor, en proporciones definidas, de esta forma permite el proceso de vulcanizado o reticulado, posee una longitud de 71 metros entre la extrusora y al autoclave también otra longitud de 30 entre la autoclave y la caja de sellos.

5.3.6 Autoclave de vapor : Dispositivo que posee una polea interior que mide aproximadamente 50 cm de diámetro y cuyo objetivo es de cambiar la dirección de la catenaria y del cable hacia la dirección opuesta, esto lo hace ver interesante porque ahorra suficiente espacio de trabajo en la planta.

En la autoclave se encuentra montado sobre rodillos que permiten absorber los movimientos de expansión y de compresión en la tubería de la cañería.

5.3.7 Capstan de salida : La función del capstan es de dar velocidad lineal a la máquina, este esta formado por una polea de 62 cm aproximadamente y se encuentra entre la caja de sellos y el pulmón de salida, y posee la misma caja de velocidad de la del capstan de entrada.

NOTA:

Estos capstan deben de tener la misma regulación, para evitar roturas en los cables a tensión.

5.3.8 Pulmón de salida : Su función es de regular el paso de cable hacia el embobinador. Posee 10 poleas 240 mm de diámetro aproximadamente, 5 ubicadas en eje fijo y las otras 5 en un eje móvil, que se desplazan en un sentido vertical, proporcionado material y tiempo para permitir el cambio de bobina sin parar la máquina.

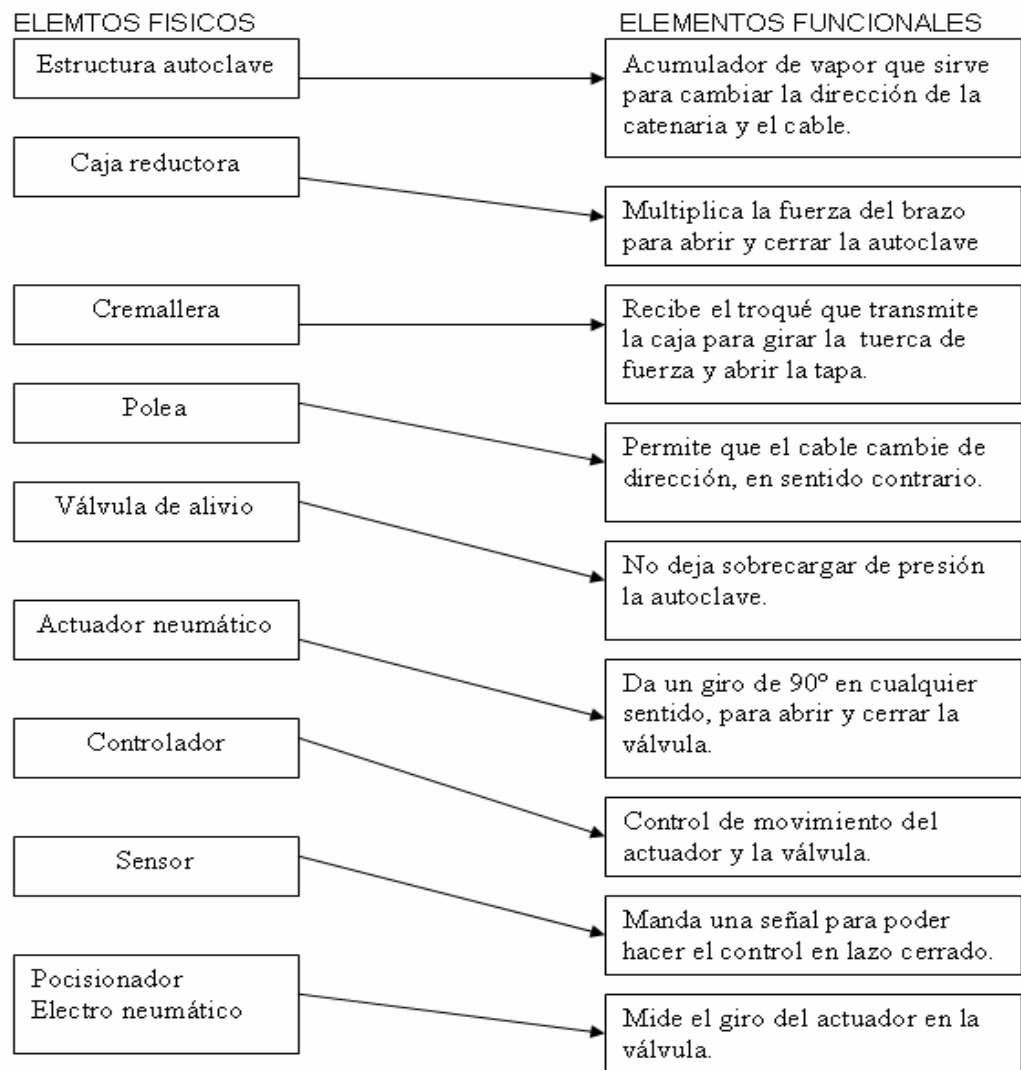
5.3.9 Embobinador : Tiene dos embobinadores en forma de caballetes con capacidad para dos bobinas de madera hasta 800 mm de diámetro.

6. DESARROLLO DE LA ARQUITECTURA DEL PRODUCTO

6.1. ANÁLISIS DE LA ARQUITECTURA DEL PRODUCTO

6.1.1. Diagrama de interacciones. Elementos físicos y elementos Funcionales ver en la ilustración 13 las interacciones.

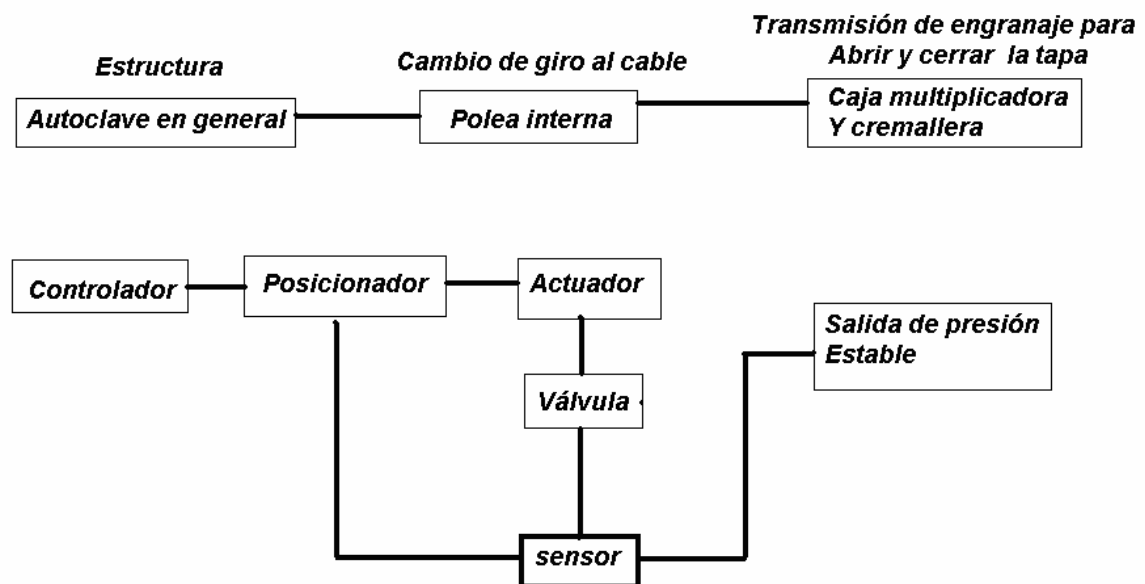
Ilustración 16. Interacción entre elementos físicos y funcionales



De acuerdo al diagrama mostrado en la ilustración 13. Se complica la decisión acerca de la arquitectura que debe adquirir el producto, sin embargo es de notarse que determinados elementos físicos están cumpliendo varias funciones adicionales que resultan ser parte de un pequeño subsistema. Es por esto que se ha decidido clasificar el producto en una arquitectura **modular**.

6.2 ESQUEMA DEL PRODUCTO

Ilustración 17. Agrupación de elementos funcionales en conjuntos



En la Ilustración 14 se puede apreciar los subsistemas que comprenden al producto en donde se agrupan los diferentes elementos funcionales que cumplen determinada función relacionada.

6.3. ANÁLISIS DE INTERACCIONES

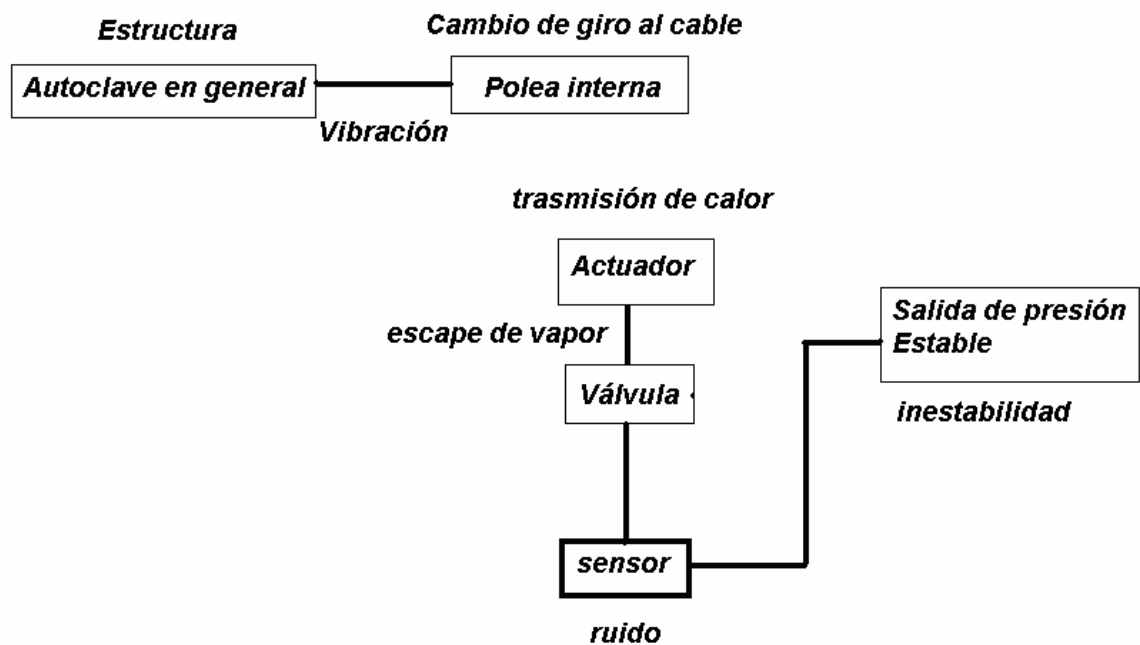
6.3.1. Interacciones Fundamentales. Se identificaron en los subsistemas las interacciones que permitirán un funcionamiento óptimo.

-La autoclave de vapor debe ser robusta y soportar alta presiones a temperaturas elevadas, sus sellos o empaque deben tener la características adecuadas como de ser resistentes a la temperatura y a la presión de vapor.

-El actuador debe estar bien acoplado al tubo que le suministra vapor a la catenaria y la autoclave, este actuador debe generar buen troqué a la hora de abrir y cerrar la válvula.

6.3.2. Interacciones Incidentales. Estas interacciones nos muestran las interacciones entre los diferentes conjuntos de nuestro producto pueden presentar fallas o ser causales de las mismas, como se muestra en la ilustración 15.

Ilustración 18. Interacciones Incidentales



6.4 ARQUITECTURA DEL SISTEMA ELECTRÓNICO

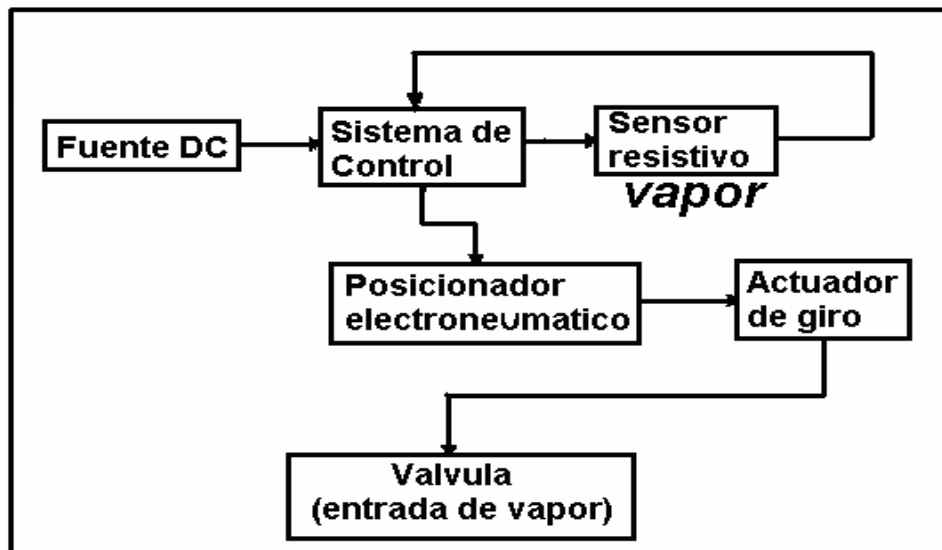
6.4.1 Programador y controlador : Este subsistema se encargará de acondicionar la señal recibida del sensor para luego ser transmitida al posicionador electroneumático, considerando el sentido y el giro en proporciones distintas de la válvula.

6.4.2 Fuente DC : Este subsistema se encargará de tomar la energía de la red eléctrica y acondicionarla para el controlador.

6.4.3 Posicionador electroneumático : Es el que recibe la información que pasa desde el sensor al controlador y finalmente la recibe el posicionador electroneumático para luego abrir y cerrar la válvula dependiendo de la presión que se esta manejando.

6.4.4 Esquema del producto : La siguiente ilustración muestra el esquema general del producto donde se aprecian los diferentes módulos que lo componen según sus funciones.

Ilustración 19. Esquema general del Producto por bloques funcionales

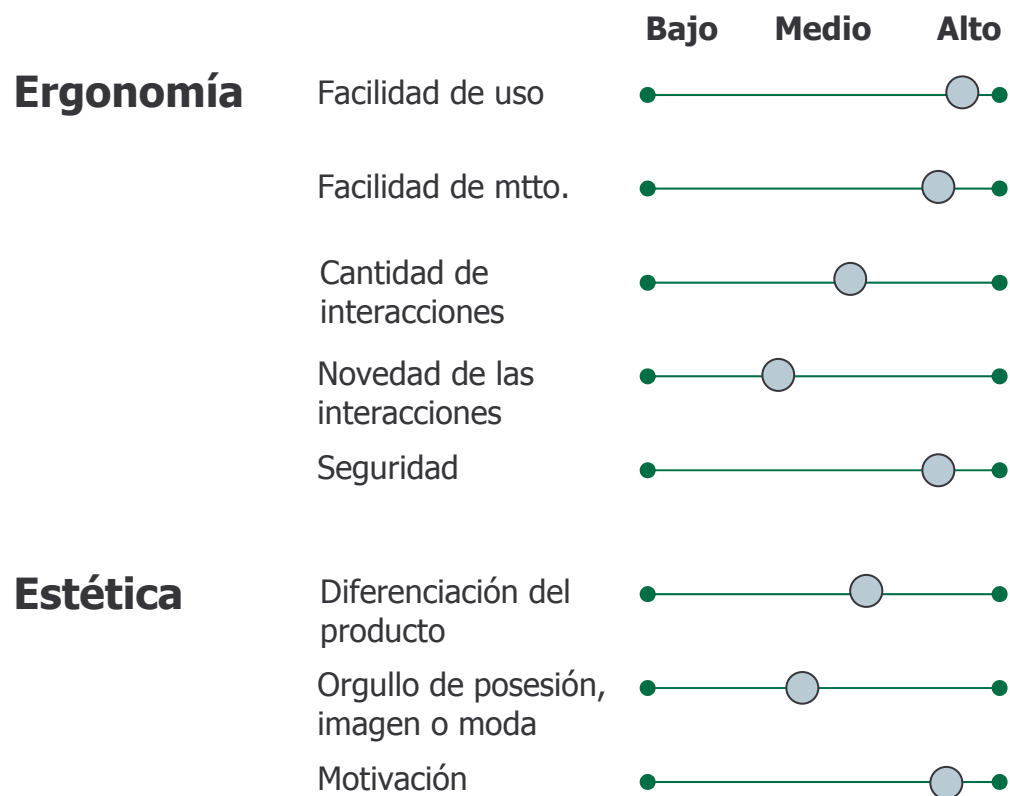


7. DISEÑO INDUSTRIAL

7.1 VALORACIÓN DEL DISEÑO INDUSTRIAL

Es importante elaborar un análisis adecuado respecto a conceptos fundamentales como los son, la ergonomía y la estética, conceptos que son determinantes en el éxito del producto puesto que influyen en factores como el orgullo de posesión la facilidad de uso, Diferenciación del producto, entre otros.

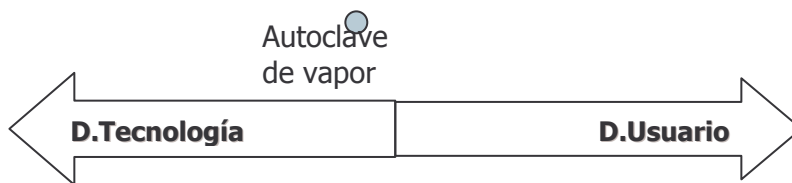
Ilustración 20. Valoración de diseño industrial



7.2. CLASIFICACIÓN DEL PRODUCTO

De acuerdo a la clasificación de las necesidades ergonómicas y estéticas se puede concluir que el producto tiene mayor ejecución tecnológica ya que la funcionalidad del producto se debe comportar de una manera excepcional pero sin dejar atrás la relación con el usuario.

Ilustración 21. Clasificación y naturaleza del producto



7.3. VALORACIÓN DEL DISEÑO INDUSTRIAL EN LAS AUTOCLAVES

En la valoración del diseño industrial en las AUTOCLAVES encontramos que :

La Calidad de Interfases esta altamente valorada puesto que el cliente se encuentra atraído por la mayor simplicidad en la manipulación de este tipo de máquinas, además de que actualmente este tipo de máquinas se encuentra altamente evolucionada.

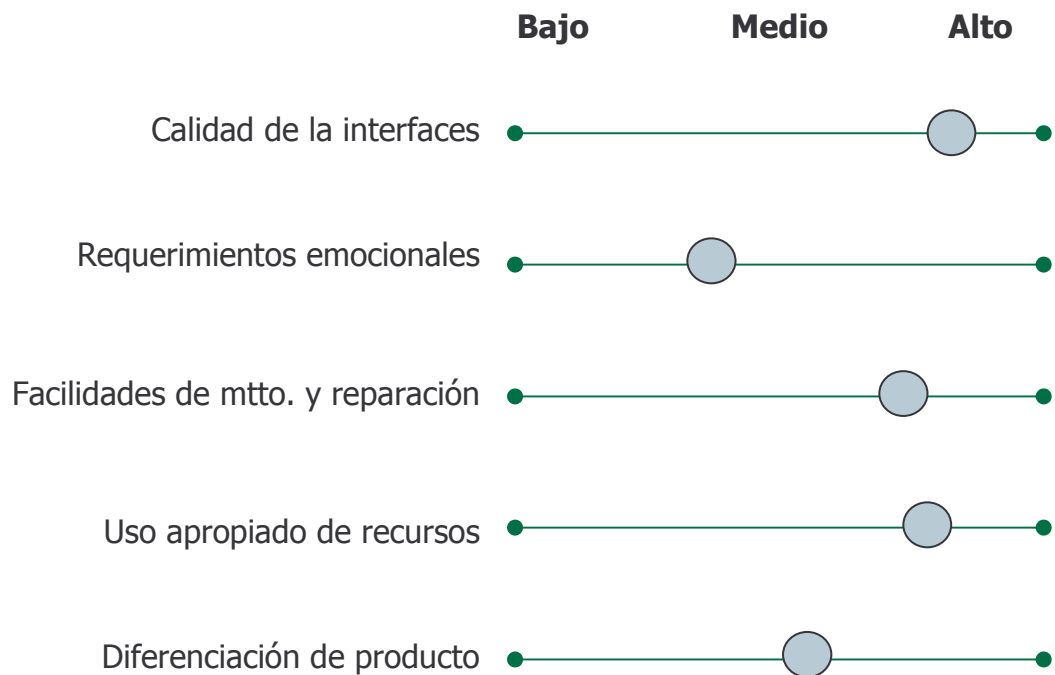
Requerimientos Emocionales Por las características del proyecto este, estará relacionado como un dispositivo Mecatrónico, sin embargo a nivel competitivo no será muy reconocido.

Facilidades de mto y reparación se encuentra altamente valorada puesto que en general este tipo de maquinaria al tratarse de maquinaria que maneja precisión requiere gran facilidad de mantenimiento y reparación.

Uso apropiado de Recursos el material que se utiliza en este tipo de maquinaria generalmente es muy importante.

Diferenciación del producto este tipo de proyecto no cuenta con grandes marcas de reconocimiento ni variedad puesto que este concepto no es muy valorado.

Ilustración 22. Valoración de diseño en el producto



8. DISEÑO PARA MANUFACTURA Y ENSAMBLE

8.1 ANÁLISIS DE DISEÑO PARA MANUFACTURA (DPM)

El objetivo fundamental de un análisis de diseño para manufactura es tratar de reducir lo más posible los costos de producción de cualquier tipo de dispositivo sin sacrificar bajo ninguna circunstancia su calidad.

Bajo esta premisa se asumió en el diseño sacrificar costos por calidad siempre y cuando el presupuesto destinado pudiera cubrirlos, para ello se realiza una planeación estratégica sobre el uso de materiales que pueda utilizarse para el sistema mecánico y partes estándares de fácil consecución.

8.1.1 Autoclave

Procesos : Moldeado, fundido, maquinado. Torneado o mandrilado, cortado, fresado, taladrado, ensamblado y soldado.

Se adquiere primero los moldes donde se va a fundir las piezas, luego de un proceso largo de fundición, esperan al enfriamiento para luego ser maquinados ya sea en el torno o en mandriladora; después pasa a ser rectificado. En el proceso de ensamblaje hay una serie de construcciones de enchaquetado por lámina para el soporte y brazo de la tapa, este proceso lleva una serie de cortado y soldado para su unión, después viene el proceso de ensamble, para dar por terminado superficialmente el proceso de la autoclave.

En la ilustración 20. Podemos ver la autoclave gráficamente de una manera explosionada para el proceso de ensamble.

8.1.2 Poleas en V

Procesos : Cortado, Torneado, Taladrado, roscado.

Se adquiere una rodaja de acero inoxidable, esta se corta, y pasa a un proceso de maquinado llamado Torneado que le da las dimensiones precisas, y por último un proceso

de taladrado y machueliado adecuado para los respectivos prisioneros, finalizando con el determinado acabado.


8.1.3 Ejes para tapa de la olla AUTOCLAVE

Procesos : Cortado, torneado, (Maquinado, Cilindrado y Rectificado).

Se compra un eje de acero, este se corta de manera adecuada, y se le dan las medidas precisas mediante un proceso de Cilindrado, refrendado y Rectificado.

8.1.4 Base para autoclave

Procesos : Cortado, soldado, torneado y taladrado.

Se compra riel o I  en acero para luego llevar un proceso de cortado y soldado, luego es taladrado para ser ensamblado con unas ruedas o poleas de acero sobre un carril o ángulo guía.

8.1.5 Base del soporte de tapa

Procesos : Cortado, soldado.

Esta base se hace con un proceso conocido como enchaquetado, para unir una serie de plátinas y formar el soporte de la tapa junto con el brazo que la sostiene.

8.2. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DE COSTOS

Se pretende hacer una aproximación de costos, se ha intentado establecer e identificar aquellas partes que podrían ser unificadas para mejorar el diseño para ensamble DPE.

Se busca saber si el proyecto como esta planteado, es realmente viable y cuanto dinero se necesita disponer aproximadamente para la construcción de la autoclave con su diseño y control de vapor para la máquina HCV 312 evaluando los diferentes gastos que se presentan desde el período de la investigación hasta la implementación del mismo, por medio de un cronograma que evalúa factores importantes con sus respectivos rubros,

desglosando así lo más posible mes a mes, los gastos que posiblemente se han presentado y se presentarán cuando se inicia un proyecto con estas características.

8.2.1. Lista de materiales y componentes. En la siguiente tabla se enlistan el número de piezas y su costo.

Tabla 10. Lista de componentes, costos directos

Descripción	Cantidad	Precio (\$)
ACTUADOR GIRATORIO FESTO	1	2.212.851
POSICIONADOR NEU SIPART PS2	1	3.888.500
VALVULA DE BOLA 2"*600PSI INOX	1	1.333.333
CONTROLADOR PROGRAMADOR EUROTHERM 2408F	1	1.788.140
TRANSMISOR SITRANS P SERIE Z DE 0 A 300PSI SALIDA DE 4 a 20 A SIEMENS	1	1.135.000
FUENTE SIMATIC SIEMENS	1	235.000
UNIDAD DE MANTENIMIENTO FESTO	1	200.000
CONSTRUCCION AUTOCLAVE	1	17.000.000
VALVULA DE ALIVIO TECVAL MODELO VS61A 350 PSI ROSCA DE 1 ½ " NPN	1	2 000.000
VALVULA PARA EVACUAR VAPOR NO MARCADO POR EL MANOMETRO	1	30 650
MANOMETRO DE PRESION	1	179 634

CAJA MULTIPLICADORA DE FUERZA	1	1 500 000
CHUMACERAS PARA PUERTA DE AUTOCLAVE	2	244 000
RODAMIENTOS RESISTENTES	4	85 000
TOTAL	1	31 832 108

Estos datos son primordiales al momento de realizar la implementación del proyecto. Pues esta cantidad de dinero se debe tener en cuenta en el momento de realizar el proyecto de forma adecuada, el resumen de costos para así poder suponer un balance casi real de cuentas.

9. DISEÑO PARA ENSAMBLAJE

Este análisis se elaboró en busca de determinar el índice de DPE.

Número de partes: 60

Tiempo estimado de ensamble: 3 horas

$$\text{Índice DPE} = \frac{\# \text{ Partes min.} \times 3s}{\text{Tiempo estimado para ensamble}}$$

$$\text{Índice DPE} = \frac{60. \times 3s}{3\text{hora} \times 60\text{min} \times 60\text{seg}} = 0.016$$

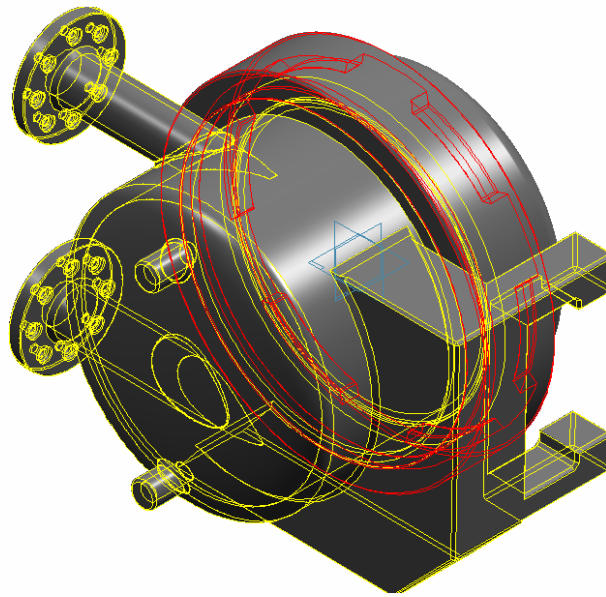
9.1 PROTOTIPADO

En la parte de prototipado lo que se trata de hacer, es llegar a una aproximación de lo que va a ser el producto como tal, a través de una o mas dimensiones de interés. Un prototipo no es solo sinónimo de algo tangible o físico sino que también puede ser analítico; es decir, una representación del producto en una forma no tangible por medio de bocetos, modelos matemáticos y modelos virtuales computacionales en 3D con el fin de analizar aspectos de interés y no de construcción.

Según lo anterior se mencionan los diferentes prototipos que se generaron en este proyecto.

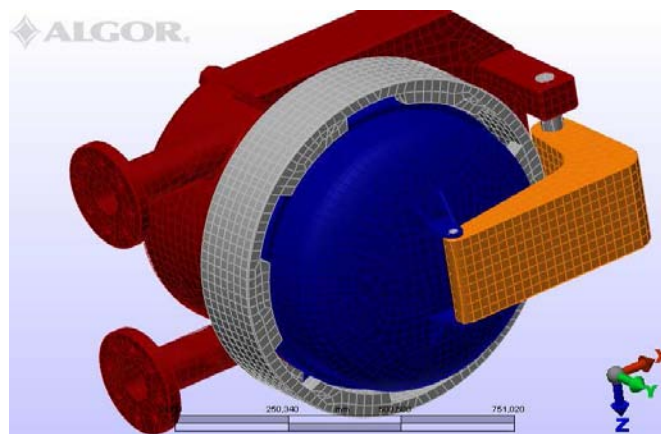
Prototipo A : Prototipos analíticos parciales de las piezas mecánicas usando herramientas como SOLID EDGE, AUTOCAD, para analizar las dimensiones del producto y las respectivas tolerancias. Este prototipo una vez diseñado y/o modelada todas las piezas, permite dar una idea de la forma definitiva del producto.

Ilustración 23. Sistema mecánico virtual de la autoclave



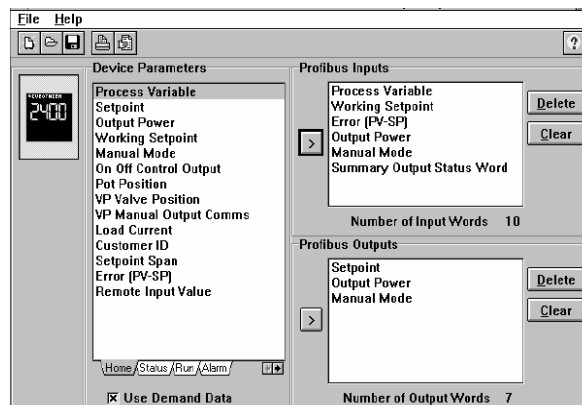
Prototipo B : Prototipo analítico parcial de los comportamientos en el sistema utilizando la herramienta ALGOR, donde se analizó características del sistema como el esfuerzos, factores de seguridad y deformaciones, en el control de vapor se tuvieron en cuenta el tiempo de respuesta, esfuerzo de control y parámetros que permitieron la selección del actuador.

Ilustración 24. Sistema mecánico virtual de la autoclave en algor



Prototipo C : Prototipo software/Hardware parcial analítico del controlador programable, para leer la señal del sensor, y comunicarlo con el posicionador electroneumático.

Ilustración 25. Sistema de software parcial del controlador

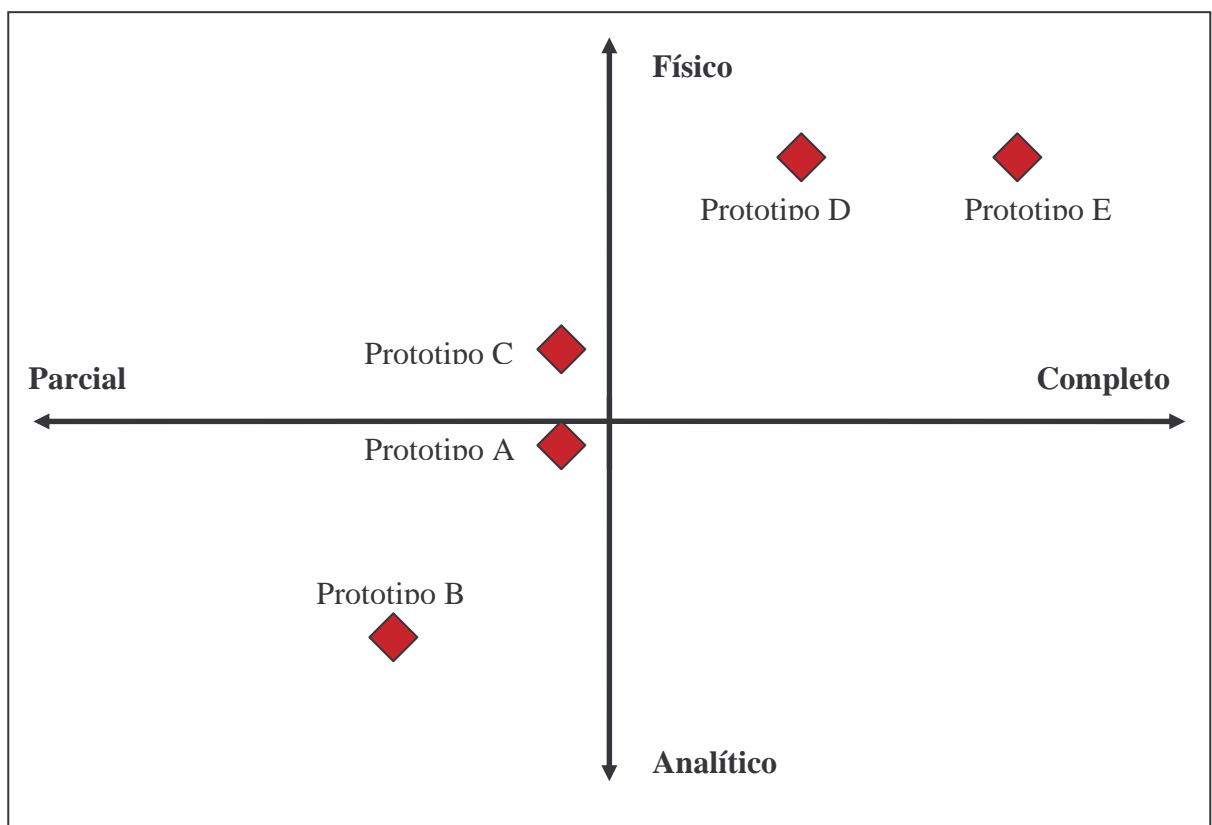


Prototipo D : Prototipo alfa que mostró si el concepto desarrollado funciona y cumple con las respectivas restricciones y premisas.

Prototipo E : Prototipo Beta que demuestra que el concepto desarrollado es un concepto que se acopla de manera adecuada y óptima a las necesidades y que resuelve de manera eficiente.

9.2 DIAGRAMA DE REPRESENTACIÓN DE PROTOTIPOS

Ilustración 26. Diagrama de representación de los prototipos



10. DISEÑO DETALLADO

10.1 CÁLCULOS PARA HALLAR EL ESFUERZO TANGENCIAL DE LA AUTOCLAVE CARGADA DE PRESIÓN

10.2 ESFUERZO TANGENCIAL PERMISIBLE σ_t MAXIMO

DATOS DE LA AUTOCLAVE

De = diámetro exterior, Di = diámetro interior, Re = radio exterior Ri = radio interior
Pe = presión exterior Pi = presión interior R = radio escogido en el espesor

De = 0.66 m Re = 0.33 m R = 0.322065 m **PARA UN ESPESOR DE 7.9375mm**
Di = 0.64413 m Ri = 0.322065 m Pi = 315 PSI **5/16 "de pulgada**

$$\sigma_t = \frac{Ri^2 * Pi}{Re^2 - Ri^2} * \left(1 + \frac{Ri^2}{R^2} \right)$$

$$\sigma_t = \frac{(0.322065m)^2 * (315PSI)}{(0.33m)^2 - (0.322065m)^2} * \left(1 + \frac{(0.33m)^2}{(0.322065m)^2} \right)$$

$$\sigma_t = \frac{0.103725864225m^2 * (315PSI)}{0.1089m^2 - 0.103725864225m^2} * \left(1 + \frac{0.1089m^2}{0.103725864225m^2} \right)$$

$$\sigma_t = 6314.80282925 \text{ PSI} * 2.04988279263$$

$$\sigma_t = 12944.6056585 \text{ PSI}$$

$$\sigma_t = 910.0958 \text{ Km/cm}^2$$

10.3 ESFUERZO RADIAL PERMISIBLE σ_r MAXIMO

$$\sigma_r = \frac{R_i^2 * P_i}{R_e^2 - R_i^2} * \left(1 - \frac{R_i^2}{R^2} \right)$$

$$\sigma_t = \frac{(0.322065m)^2 * (315PSI)}{(0.33m)^2 - (0.322065m)^2} * \left(1 - \frac{(0.33m)^2}{(0.322065m)^2} \right)$$

$$\sigma_t = \frac{0.103725864225m^2 * (315PSI)}{0.1089m^2 - 0.103725864225m^2} * \left(1 - \frac{0.1089m^2}{0.103725864225m^2} \right)$$

$$\sigma_r = 6314.80282925 psi * (-0.04988279263)$$

$\sigma_r = -315 \text{ PSI}$	\longrightarrow	$\sigma_r = -22.14669 \text{ Km/cm}^2$
-------------------------------	-------------------	--

10.4 ESFUERZO LONGITUDINALES σ_l

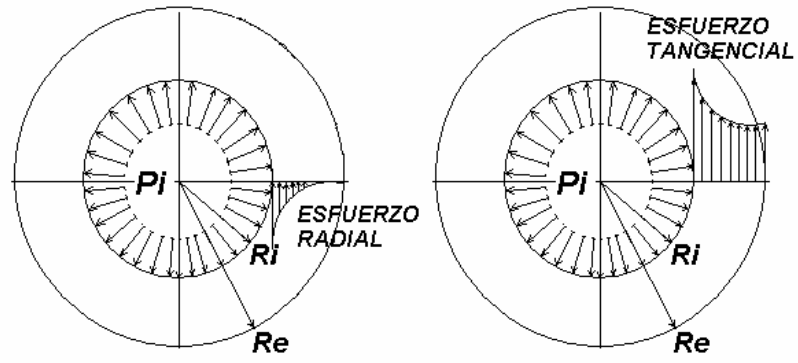
$$\sigma_l = \frac{P_i * R_i^2}{R_e^2 - R_i^2}$$

$$\sigma_l = \frac{315PSI * (0.32365m)^2}{(0.33m)^2 - (0.32365m)^2}$$

$$\sigma_l = \frac{315PSI * 0.1047493225m^2}{0.1089m^2 - 0.1047493225m^2}$$

$\sigma_l = 6314.80282925 \text{ PSI}$	\longrightarrow	$\sigma_l = 443.9746 \text{ Km/cm}^2$
--	-------------------	---------------------------------------

Ilustración 27. Esquemático de esfuerzo radial y tangencia



11. TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO EN LA AUTOCLAVE DE VAPOR

11.1 PUNTO DE EBULLICIÓN DEL AGUA EN FUNCIÓN DE LA PRESIÓN

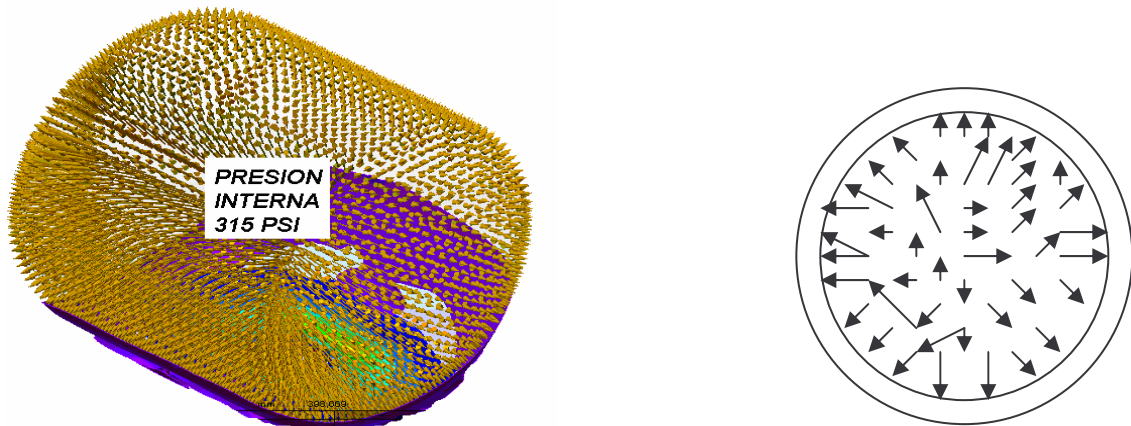
$$T_{Pe}({}^{\circ}C) = \left(PRESION(MPa) * (1 * 10^9) \right)^{0.25}$$

$$T_{Pe}({}^{\circ}C) = \left(2.171849(MPa) * (1 * 10^9) \right)^{0.25} = 215.87^{\circ}C$$

$$T_{Pe}({}^{\circ}C) = 215.87^{\circ}C$$

Esto nos quiere decir que la temperatura de trabajo real de la autoclave internamente es de aproximadamente 216 °c.

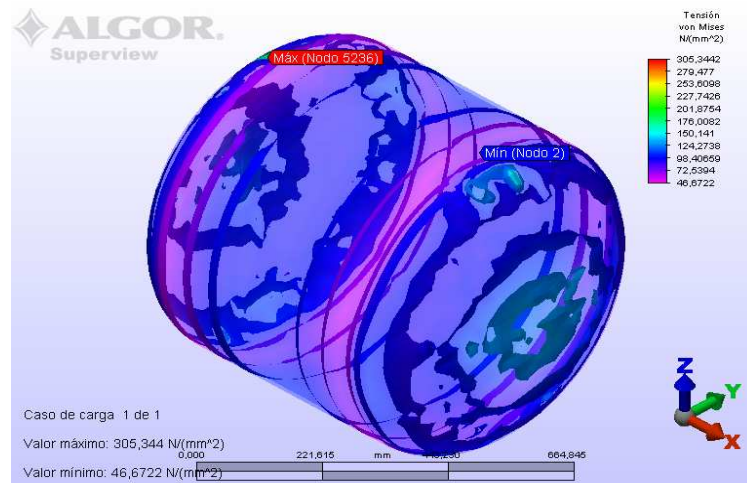
Ilustración 28. Esquemático de presión interna



12. TANQUE DE AUTOCLAVE SOMETIDO A PRUEBAS VIRTUALES DE PRESIÓN EN ALGOR

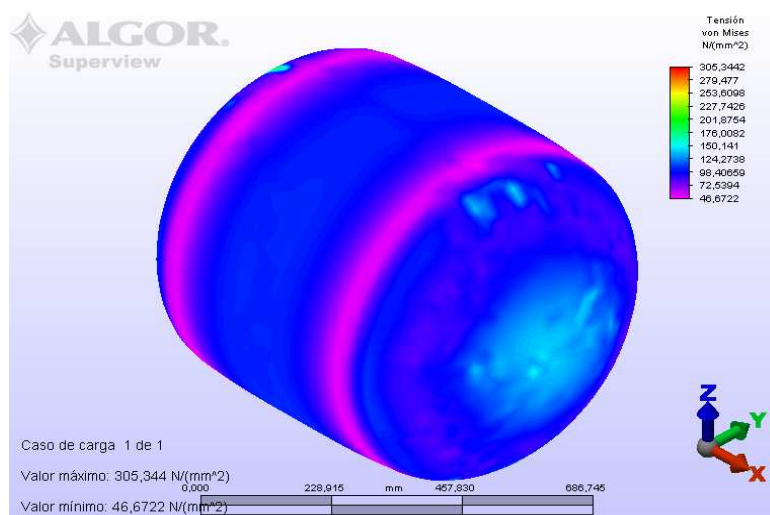
12.1 TENSIÓN VON MISES

Ilustración 29. Esquemático virtual del comportamiento del material internamente



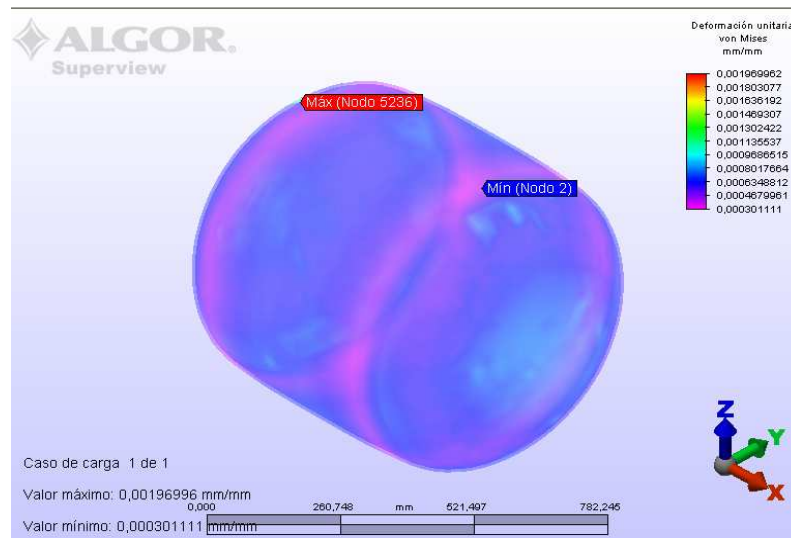
12.2 TENSIÓN VON MISES

Ilustración 30. Esquemático tensión von mises del tanque



12.3 DEFORMACIÓN UNITARIA VON MISES

Ilustración 31. Esquemático deformación unitaria von mises en el tanque



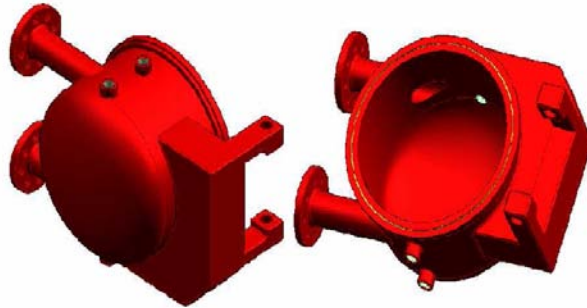
12.4 DISEÑO GRÁFICO DEL SISTEMA

Teniendo en cuenta las necesidades detectadas, las premisas de la investigación, el concepto seleccionado a desarrollar, la arquitectura modular y el impacto del diseño industrial se rediseño las siguientes estructuras.

En las siguientes ilustraciones observaremos las partes principales de la Autoclave para su posible construcción.

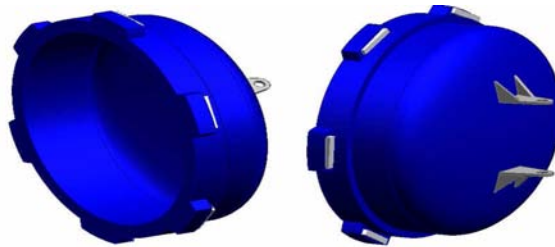
Se diseñará una autoclave que pueda servir para soportar altas presiones de vapor y un buen acoplamiento de la catenaria en la autoclave, a su vez permitirá en su exterior el acondicionamiento de una válvula de seguridad y una válvula para evacuar gases de vapor no permisibles por el manómetro de presión y en su interior una polea la cual se encarga de cambiarle el giro al cable que se esta produciendo.

Ilustración 32. Estructura AUTOCLAVE



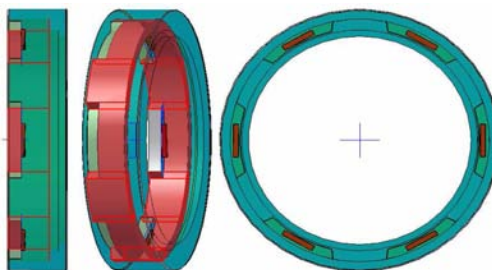
La estructura de esta tapa se diseñó por su facilidad de sellado y su velocidad de abrir y cerrar la tapa en la autoclave. Como lo vemos en el gráfico esta operación de sellado es por medio de cuñas, que se encuentran entre sí en direcciones opuestas.

Ilustración 33. Tapa de la AUTOCLAVE



Este anillo de fuerza es un sistema del sistema de rápido funcionamiento a la hora de abrir y cerrar la autoclave, de modo que se encuentran entre sí con las cuñas de la tapa, proporcionando un esfuerzo de aplastamiento entre la tapa y la autoclave, logrando así un sellado rápido y fácil, en un giro del anillo menor a 30° .

Ilustración 34. Anillo de fuerza



13. SELECCIÓN DEL MATERIAL SEGÚN SUS CARACTERÍSTICAS

13.1 MATERIALES MÁS COMUNES Y SUS ESFUERZOS PERMISIBLES

Tabla 11 Datos de los esfuerzos permisibles Kg/cm^2 en los materiales candidatos para la construcción de la autoclave

ESPECIFICACIÓN	GRADO	ESFUERZO EN PUNTO CEDENCIA	ESFUERZO A LA TENSION	ESFUERZO DE DISEÑO	ESFUERZO DE PRUEBA
ASTM					
A-283	C	2110	3870	1410	1580
A-285	C	2110	3870	1410	1580
A-131	A,B,CS	2390	4080	1600	1750
A-36		2530	4080	1630	1750
A-131	EH36	2580	4990	1200	2140
A-442	55	2110	3870	1410	1580
A-442	60	2250	4220	1500	1690
A-573	58	2250	4080	1500	1690
A-573	65	2460	4570	1640	1850
A-573	70	2950	4920	1970	2110
A-516	55	2110	3870	1410	1580
A-516	60	2250	4220	1500	1690
A-516	65	2460	4570	1640	1850
A-516	70	2670	4920	1780	2000
A-662	B	2810	4570	1830	1960
A-662	C	3020	4920	1970	2110
A-537	1	3510	4920	1970	2110
A-537	2	4220	5620	2250	2410
A-633	C,D	3510	4920	1970	2110
A-678	A	3510	4920	1970	2110
A-678	B	4220	5620	2250	2410
A-737	B	3510	4920	1970	2110

13.2 MATERIAL ESCOGIDO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA AUTOCLAVE

Tabla 12 Datos y características del material escogido

7.3. LAMINAS HOT ROLLED O LAMINADAS EN CALIENTE

DIMENSIONES Y PROPIEDADES PARA EL DISEÑO

Calidades más comunes		COMPOSICIÓN QUÍMICA							PROPIEDADES MECÁNICAS				APLICACIONES MÁS FRECUENTES	
		L	C	MN	P	S	SI	CU	LÍMITE ELÁSTICO		RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	% ALARGA		
ASTM	DIN		(x 100)	(x 100)	(x 100)	(x 100)	(x 100)	(x 100)						
A - 36	ST 33 - 1.2	MIN		80				15	23 kg / mm2		41 kg / mm2	400 Mpa	20	Estructuras metálicas en general
		MAX	25	120	4	4	30	20	25 kg / mm2	250 Mpa	56 kg / mm2	550 Mpa	23	
A 283 GR C	RST 37 - 1.2	MIN		50				7			39 kg / mm2	380 Mpa	20	Tanques de almacenamiento
		MAX	18	90	3,5	3,5	35	30	21 kg / mm2	205 Mpa	46 kg / mm2	450 Mpa	23	
A 285 GR C		MIN									38 kg / mm2	380 Mpa	23	Recipientes a presión de baja en Intermedia resistencia a la tracción
		MAX	28	90	3,5	3,5			21 kg / mm2	205 Mpa	45 kg / mm2	515 Mpa	27	
A 131 GR A	RST 34 - 1.2	MIN		53							41 kg / mm2	400 Mpa	21	Construcción naval en general
		MAX	21		4	4	50,4		23 kg / mm2	235 Mpa	50 kg / mm2	490 Mpa	24	
A 516 GR 70		MIN	27	85			15				49 kg / mm2	485 Mpa	17	Recipientes a presión temperaturas media - alta
		MAX	31	120	4	3,5	40		27 kg / mm2	260 Mpa	63 kg / mm2	620 Mpa	21	
A 514 GR A	RQT 601	MIN				1,5					71 kg / mm2	690 Mpa		Resistencia a la abrasión
		MAX	20	150	3,5	4	50		64 kg / mm2	600 Mpa	87 kg / mm2	850 Mpa	19	

14. SELECCIÓN DEL TUBO

14.1 EN LA AUTOCLAVE SEGÚN LA NORMA ASTM schedule

Para la entrada y salida de vapor en la autoclave se seleccionó un tubo conocido como SCHEDULE número 80 para empotrarlo y soldarlo al tanque.

Tabla 13. Características del SCHEDULE escogido

mm	in	externo	SCH 80s		SCH 160s		SCH XXS	
			Pared	Peso Kg/m	Pared	Peso Kg/m	Pared	Peso Kg/m
6	1/8"	10,29	2,41	0,47	*	*	*	*
8	1/4"	13,72	3,02	0,81	*	*	*	*
10	3/8"	17,15	3,20	1,12	*	*	*	*
15	1/2"	21,34	3,73	1,65	4,78	1,98	7,47	2,59
20	3/4"	26,67	3,91	2,23	5,56	2,94	7,82	3,69
25	1"	33,40	4,55	3,29	6,35	4,30	9,10	5,53
32	1.1/4"	42,16	4,85	4,53	6,35	5,69	9,70	7,88
40	1.1/2"	48,26	5,08	5,49	7,14	7,35	10,16	9,69
50	2"	60,33	5,54	7,60	8,74	11,29	11,07	13,65
65	2.1/2"	73,03	7,01	11,60	9,53	15,15	14,02	20,71
80	3"	88,90	7,62	15,50	11,13	21,67	15,24	28,11
90	3.1/2"	101,60	8,08	18,90	*	*	*	*
100	4"	114,30	8,56	22,70	13,49	34,05	17,12	41,66
125	5"	141,30	9,53	31,40	15,88	49,87	19,05	58,31
150	6"	168,28	10,97	43,20	18,26	68,59	21,95	80,43
200	8"	219,08	12,70	65,50	23,01	113,01	22,22	109,57
250	10"	273,05	12,70	82,79	28,58	174,90	25,40	157,51
300	12"	323,85	12,70	98,95	33,32	242,53	25,40	189,81
350	14"	355,60	*	*	*	*	*	*
400	16"	406,40	*	*	*	*	*	*
450	18"	457,20	*	*	*	*	*	*
500	20"	508,00	*	*	*	*	*	*
600	20"	609,60	*	*	*	*	*	*

15. SELECCIÓN DE FLANGES PARA LA UNIÓN DE LA CATENARIA CON LA AUTOCLAVE DE VAPOR

15.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS FLANGES ESCOGIDOS

Ilustración 35. Flanges escogidos

Tipo: Deslizar-En, cuello, persiana, soldadura del zócalo, roscada, empalme y placa que sueldan con autógena etc. del regazo.

Grados de la presión: Clase 150, 300, 600, 900, 1500 y 2500

PN 6, PN 10, PN16, PN25, PN40 y PN64

JIS 5K, 10K, 16K y 20K

Materiales: Acero de carbón, acero inoxidable y acero de aleación etc.

Estándares: SP etc. del ANSI, del API, de BS, del estruendo, de UNI, de JIS y de MSS.

Tamaño: el 1/2 " ~ 64 " (~ de DN15 milímetro 1600 milímetros)



Para la unión de la catenaria con la autoclave de vapor se ha seleccionado un FLANGE para 600 psi el cual va unido por soldadura al tubo Schedule 80, esta unión por soldadura se realizará primero con un colchón de penetración 610 y luego para un proceso de fundición es recomendable usar soldadura 7018.

16. REQUERIMIENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA AUTOCLAVE DE VAPOR

Después de obtener los esfuerzos de diseño con los cálculos anteriores, vamos a la tabla 16 de esfuerzos permisibles y comparamos, que el resultado obtenido por los cálculos anteriores estén por debajo del esfuerzo de diseño que aparece en la tabla.

Luego escogemos el material indicado para dicha operación, que va a estar sometido a presión de vapor y calor, para éste trabajo se escogió el acero estructural A-516 grado 70, que es uno de los materiales más comerciales en el área de tanques y en nuestro país. Éste material se empleará para el desarrollo y construcción del tanque de la autoclave por que cumple con todos los requerimientos analizados.

En el proceso de construcción se realizará el desarrollo del tanque, para luego unir las partes con soldadura, se recomienda antes de unir las piezas un buen chaflán a 45° por ambos lados para cada unión, éste proceso requiere en la unión primero una soldadura de colchón 6010 para la penetración, luego para terminar ira la 7018 como soldadura de fundición.

De acuerdo a las piezas de soporte del tanque o la autoclave, se realizará el enchapado o enchaquetado de dicha estructura con acero estructural A-36.

Los ejes o pasadores de la tapa de la autoclave, se realizarán o se construirán en acero 4340 debido a su buena resistencia mecánica.

En la construcción de la entrada y salida de la autoclave con la catenaria se escogió un acero para tubería según la norma ASTM, el Schedule 80 debido a las condiciones de trabajo en donde será sometido.

Los dos flanges que van en el final de la tubería escogida según ASTM, serán FLANGES de 600 PSI para mayor seguridad.

Nota : todas las partes o piezas de la autoclave, fueron sometidas al mismo programa de diseño en el que fue diseñado el tanque, para luego hallar todos los esfuerzos mecánicos de los materiales y así escoger su dimensión o calibre de cada pieza.

17. AJUSTE PARA TUERCA DE FUERZA EN LA BOQUILLA DE LA AUTOCLAVE.

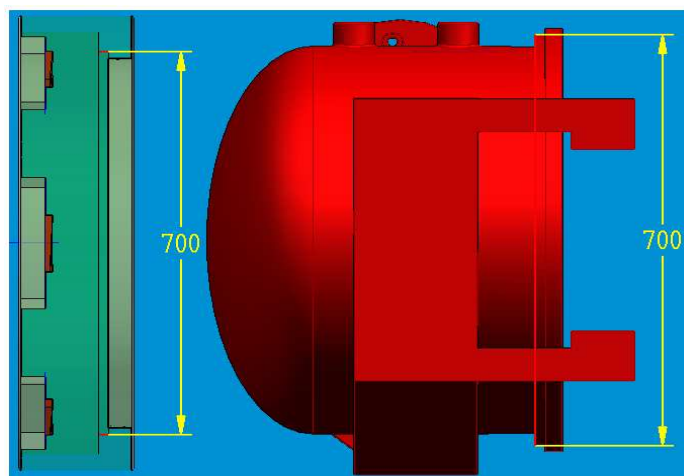
Para esta tuerca giratoria fuimos al libro de casillas y encontramos el ajuste adecuado para la boquilla, según el criterio del libro.

Entre otros escogimos el **ajuste basto o ordinario**. Este ajuste se utiliza en piezas que tengan holgura amplia y una gran tolerancia de fabricación; esto es muy conveniente para mecanismos expuestos a la oxidación, tales como aparatos expuestos a la intemperie.

Tabla 14. Ajuste para la tuerca de presión en la autoclave

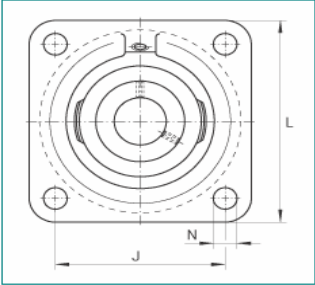
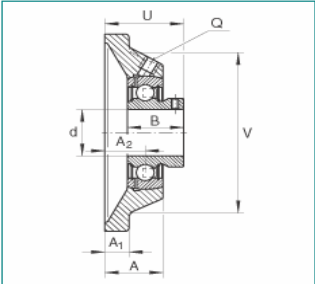
DIAMETROS NOMINALES mm	AGUJERO H11	EJE d11
700	+0,320 0,000	-0,190 -0,510

Ilustración 36. Donde van los ajustes de la tuerca de fuerza



18. SELECCIÓN DE CHUMACERA O SOPORTE BRIDA CON RODAMIENTO PARA EJE DEL BRAZO DE LA TAPA

Ilustración 37. Características de la chumacera escogida



d	40 mm	
L	130 mm	
U	53 mm	

A	34,5 mm	
A₁	13 mm	
A₂	24 mm	
B	39,5 mm	
J	101,5 mm	
N	14 mm	
Q	Rp 1/8	
V	110 mm	

m	1,79 kg	Peso
C_r	32500 N	Capacidad de carga dinámica, radial
C_{0r}	19800 N	Capacidad de carga estática, radial
	GG.CJ08-N	Denominación del soporte
	GAY40-NPP-B	Denominación del rodamiento
	KASK08	Tapa de protección Pedir por separado.
		Ranura para tapa de protección

19. SELECCIÓN DE AJUSTES PARA LOS EJES

Tabla 15. Ajuste entrada suave el eje pasador del brazo y la tapa

DIÁMETROS NOMINALES mm	AGUJERO H7	EJE j6
40	+0,025 0,000	+0,011 -0,005

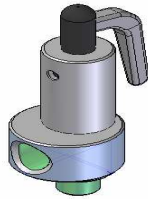
Tabla 16. Ajuste entrada suave el eje pasador de la tapa

DIÁMETROS NOMINALES mm	AGUJERO H7	EJE j6
20	+0,025 0,000	+0,011 -0,005

20. SELECCIÓN DE VÁLVULA DE SEGURIDAD TECVAL S.A.

Esta válvula se seleccionó con el fin de proteger las altas presiones en el interior de la autoclave, se escogió este tipo de válvula por que ya es conocida en la empresa por dar buenos resultados. Tamaño 1 1/2 modelo VS61A apertura 350 psi cierre 340 psi rosca NPT 11 hilos por pulgada

Ilustración 38. Válvula de seguridad



21. SELECCIÓN DEL ACTUADOR PARA ABRIR Y CERRAR LA VÁLVULA DE BOLA A CONTROLAR

En el momento de escoger el actuador para la válvula se debió tener en cuenta el momento de arranque de la válvula, momento necesario para conseguir que abra el elemento de cierre de una válvula de modo fiable y bajo las circunstancias existentes de temperatura y presión.

En la alimentación de aire comprimido, el dimensionamiento depende de la presión mínima necesaria en todo momento.

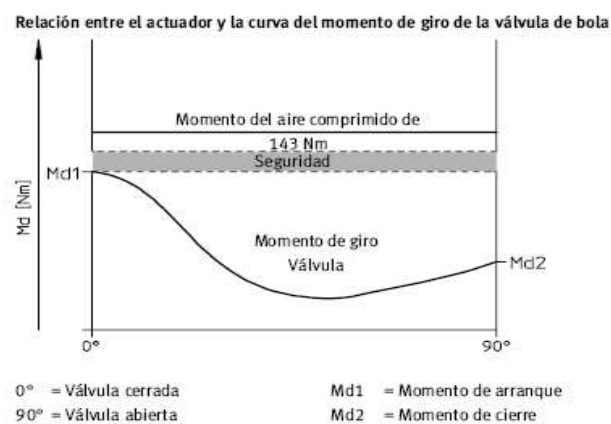
Es necesario saber con que tipo de válvula trabajaremos para determinar el modo fiable del momento de arranque de la válvula, ya sea utilizando datos ofrecidos por el fabricante o recurriendo a tablas, es indispensable conocer las condiciones imperantes en la aplicación en cuestión.

- Medio de transmisión.
- Temperatura, concentración y viscosidad del fluido.
- Gas o líquido con o sin contenido graso.
- Presencia de sustancias que puedan depositarse o aglutinarse.
- Presión diferencial en la válvula.
- Factor de seguridad, recomendable, como mínimo un factor de 1.2 (20% de seguridad) al elegir un actuador giratorio.

Para elegir el actuador se trabajó y se puso en prueba lo anterior y se determinó el momento de arranque de la válvula, por medio de un torquimetro, marcándonos de tal manera un momento de 80 Nm, aplicándole así un factor de seguridad de 1.2 para la selección de este. Esto significó que el momento de giro para la selección del actuador a trabajar debe estar por encima de 96 Nm.

Según la investigación en el mercado encontramos un actuador de giro de doble efecto, llamado COPAR DRD-14-FO5 con una presión para 6 bares ocasionando un momento de giro de 143 Nm como lo veremos en la siguiente ilustración 22, dado que se trata de un sistema piñón cremallera, provocando que el momento de giro se constante de (0 a 90°), siendo así el elegido para cumplir este tipo de trabajo.

Ilustración 39. Curva de momento de giro en la válvula de bola.



Finalmente se escoge el actuador neumático con su respectivo posicionador electro neumático, para poder controlar la válvula, con un controlador programable, este actuador con su posicionador electroneumático lo podemos ver en la siguiente ilustración 22.

Ilustración 40. Actuador COPAR DRD-14 con su respectivo posicionador electroneumático.



22. DISEÑO DEL CONTROLADOR PARA EL SISTEMA DEL ACTUADOR

Finalmente el modelo linealizado alrededor de los puntos de equilibrio $x_1 = 0$; $x_2 = 0$;
 $u = 0$

Considerando el siguiente sistema:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} u \quad y = \begin{bmatrix} 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

Control por realimentación de estados tal que los polos queden ubicados en :

$$S_1 = -2$$

$$S_2 = -3$$

Se observa que el sistema es inestable con polos en :

$$S_1 = 1$$

$$S_2 = 2$$

Lo primero que se debe de hacer es verificar si el sistema es completamente controlable :

$$a = [1, 0; 0, 2]$$

$$a = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix}$$

$$b = [1; 1]$$

$$b = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$c = [1; 1]$$

$$c = \begin{bmatrix} 1 & 1 \end{bmatrix}$$


```
d= [0]
```

```
d=
      0
```

```
Co=ctrb(a,b); rank(co)
```

```
ans= 2
```

El sistema es completamente controlable, entonces puedo asignar polos arbitrariamente.

```
pd=[-2,-3]
```

```
pd =
     -2     -3
```

```
k=place(a,b,pd)
```

```
place: ndigits= 15
```

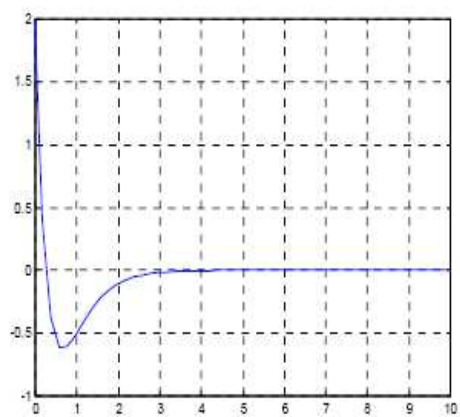
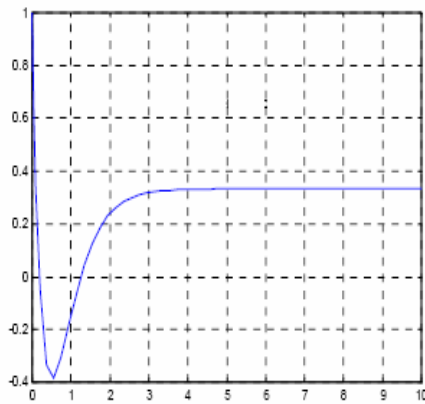
```
k =
    -12.0000    20.0000
```

Las constantes de ganancia son :

$$K_1 = -12$$

$$K_2 = 20$$

Ilustración 41. Seguidor del esfuerzo de control Ilustración 42. sistema en equilibrio



Cuando se calcula un seguidor se debe tener en cuenta que dichos cálculos deben realizarse con las matrices aumentadas pero las simulaciones se hacen con el sistema normal.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & 0 \\ -c & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b \\ 0 \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} r$$

```
aa=[ a,zeros(2,1);-c,0]
```

```
aa=
```

```
    1    0    0
    0    2    0
   -1   -1    0
```

```
ba=[b;0]
```

```
ba=
```

```
    1
    1
    0
```

```
pda=[ -2,-3,-20]
```

```
pda=
```

```
   -2   -3  -20
```

```
kpi=place(aa,ba,pda)
```

```
place:ndigits=15
```

```
kpi=
```

```
  -212.0000   240.0000   40.0000
```

```
kp=[-212,240]
```

```
kp=
```

```
  -212   240
```

```
ki=[40]
```

```
ki=
```

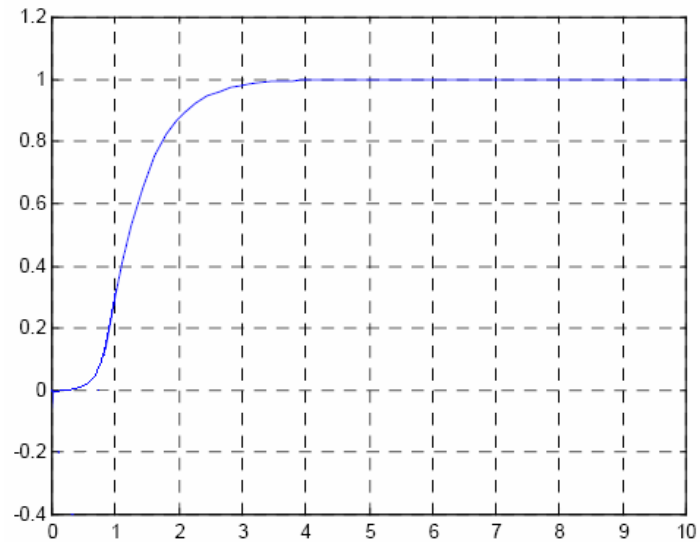
```
    40
```

Las dos primeras columnas corresponden a kp la última columna es ki

$$k_p = [-212 \quad 240]$$

$$k_i = [40]$$

Ilustración 43. Gráfica del control estable



Se observa en la gráfica que el control estabiliza el sistema y que este no presenta error de estado estacionario.

22.1 Diseño de controlador dentro del espacio de estado :

Para el diseño de controladores dentro del espacio de estado es necesario trabajar con un modelo de planta a partir de dicha expresión se diseñaran los controladores por este método aplicando dos técnicas, la primera por asignación de polos y la segunda por optimización lineal cuadrático.

22.2 Diseño de un regulador por realimentación del estado mediante asignación de polos (AP) :

Para este regulador es necesario partir del sistema lineal, como este sistema fue linealizado alrededor de los puntos de equilibrio $x_1=0$, $x_2=0=0$ se espera que el resultado sea un control de posición de la válvula en el origen o punto de equilibrio literalmente estable en donde el actuador realiza el esfuerzo mínimo.

La ley de control para el regulador viene dada por la siguiente ecuación

$$u = -KX$$

Donde $K=[K_1 \ K_2 \dots K_n]$ es el vector de ganancias de estado. La técnica de control por asignación de polos permite calcular los valores de K , de modo que los autovalores de $(A-BK)$ en lazo cerrado se encuentren en el lugar deseado.

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$y = Cx$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$C = [1 \ 0]$$

Teniendo las matrices se procede a encontrar los polos que se asignarán para el cálculo las ganancias K .

Se determina un sistema sub amortiguado con $\xi=0.8$ con un tiempo de estabilización igual a 3 segundos. $T_s= 3s$

Con los datos anteriores se obtiene el siguiente polinomio deseado:

$$\xi = 0.8$$

$$ts = \frac{4}{\xi \omega_n}$$

$$\omega_n = \frac{4}{\xi ts}$$

$$\omega_n = \frac{4}{0.8 * 3}$$

$$\omega_n = 1.66667$$

$$P_{(\lambda)} = \lambda^2 + 2\omega_n \xi + \omega_n^2$$

$$P_{(\lambda)} = \lambda^2 + 2.66667\lambda + 2.77778$$

$$\lambda_1 = -1.3333 + 1i \quad \lambda_2 = -1.3333 - 1i$$

Polos deseados: $Pdes_M = [-1.3333+1i, -1.3333-1i]$ se aumenta 8 veces la parte real de los polos debido a que el sistema de control de vapor es de orden 2

Los valores de K se hallan por medio del comando acker de matlab que hace honor al uso de la fórmula de Ackerman para el cálculo de las ganancias K

$$K = \text{acker}(A, B, Pdes)$$

$$K = [8.8281 \quad 6.1532]$$

22.3 EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROLADOR SE NECESITA TENER EN CUENTA LO SIGUIENTE :

Un ajuste que se adecue a las características del proceso con objeto de obtener un buen control.

Un buen control significa :

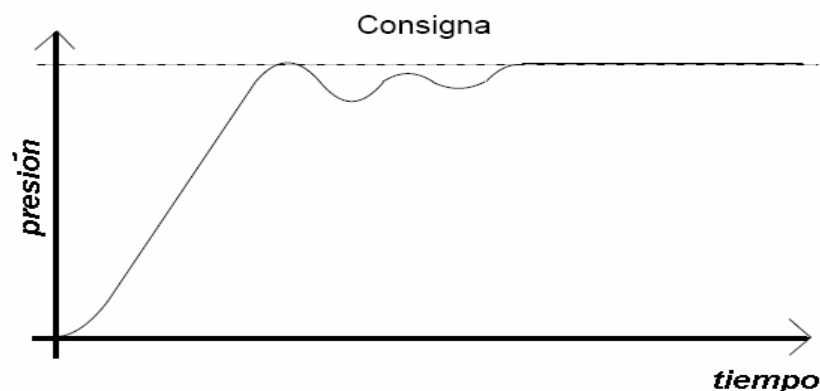
- Una regulación estable de la presión en el punto de consigna sin fluctuaciones.
- Ni excesos (overshoot) ni deficiencias (undershoot) de presión para el punto de consigna
- Rápida respuesta a las desviaciones del punto de consigna causadas por perturbaciones externas, conduciendo así rápidamente la presión al valor ajustado. El ajuste implica el

cálculo y fijación del valor de los parámetros listados en la Tabla 17. Estos parámetros aparecen en la lista PID

Tabla 17. Parámetros de funcionamiento

Parámetro	Significado o Función
Banda proporcional	El ancho de banda en unidades de pantalla en la cual la potencia de salida es proporcional entre un mín y un máximo.
Tiempo Integral	Determina el tiempo empleado por el controlador para eliminar las señales estacionarias de error
Tiempo derivado	Determina con qué fuerza reaccionará el controlador a la velocidad de cambio de una variable medida.
Corte alto	El número de unidades de pantalla por encima del punto de consigna a las que el controlador aumentará la potencia de salida con objeto de evitar deficiencias en el enfriamiento
Corte bajo	El número de unidades de pantalla por debajo del punto de consigna a las cuales el controlador cortará la potencia de salida con objeto de evitar excesos en el calentamiento
Ganancia rel. de enfriam.	Presente solo si se ha configurado el enfriamiento, Ajusta la banda proporcional de enfriamiento multiplicando el valor de Pb por el valor de rEL.

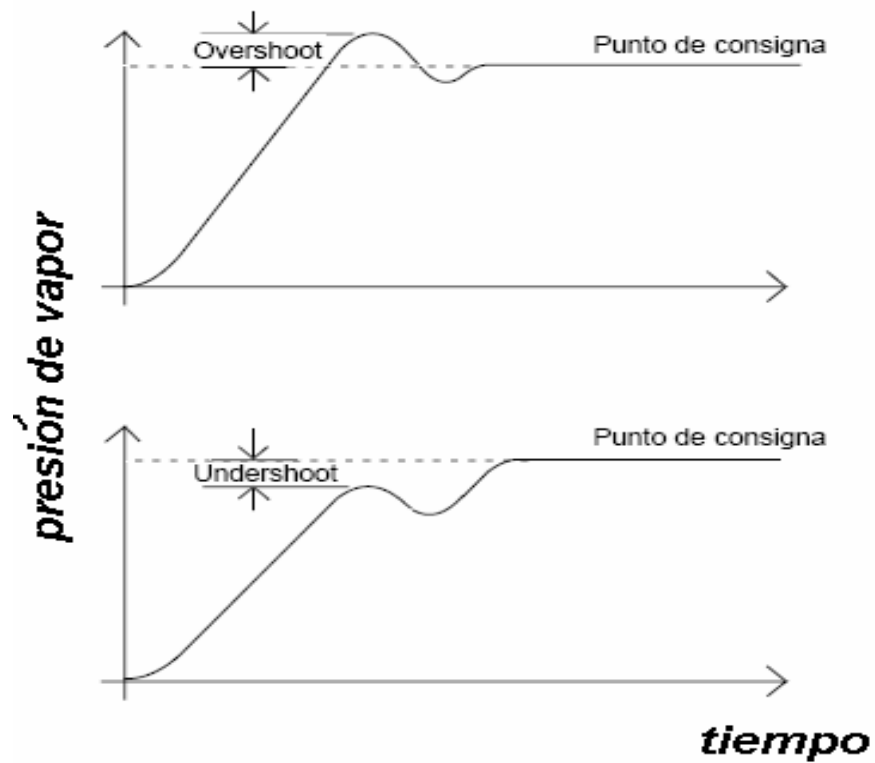
Ilustración 44. Control sub amortiguado del sistema en un tiempo de 2,7 seg



El procedimiento anterior un control sub. amortiguado y ajusta los parámetros para un control estable y óptimo. Si aparecen niveles inaceptables de exceso (overshoot) o

deficiencia (undershoot) durante el arranque o para grandes cambios de presión, entonces deben arreglarse manualmente los parámetros de corte.

Ilustración 45. Niveles inaceptables en el control de presión

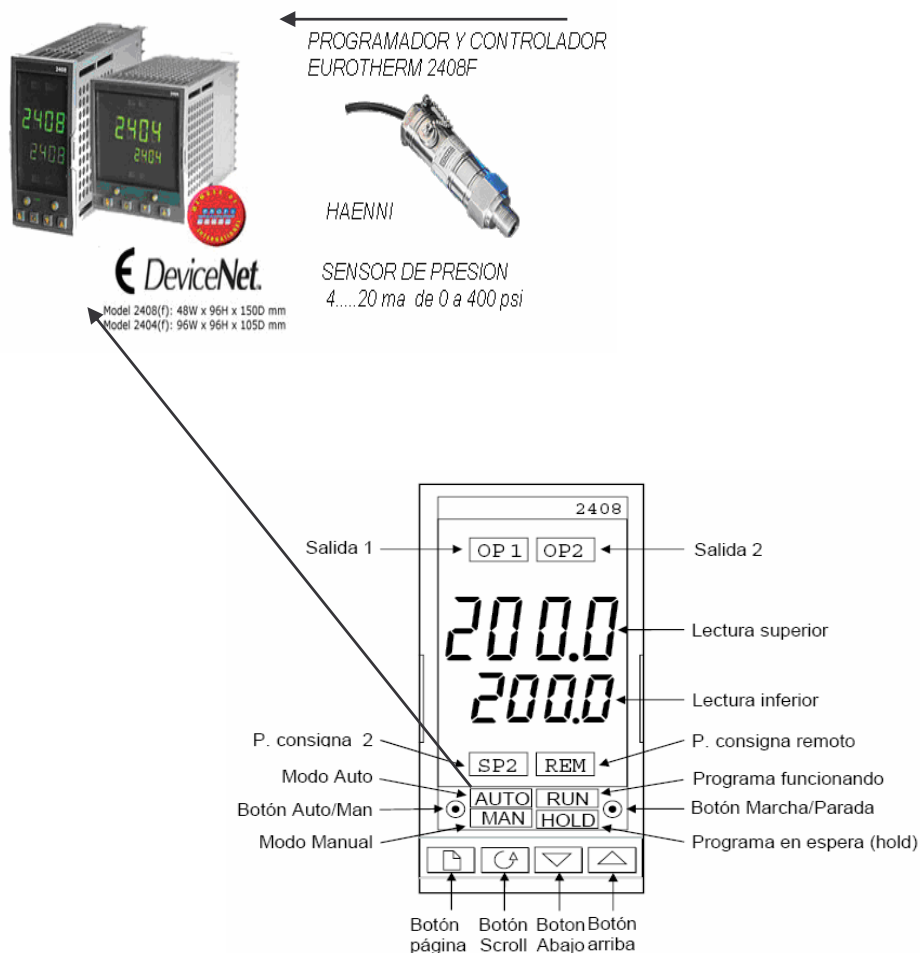


23. SELECCIÓN DEL CONTROLADOR PROGRAMABLE CON BASE A LO INVESTIGADO

23.1 Controlador programable Este controlador juega un papel importante ya que es el que controla el posicionador electroneumático, también es importante por que este es el que permite entregarle al actuador la posición de la válvula dependiendo de la señal del sensor resistivo de 4 a 20 mA . La válvula tiene un recorrido de 0 a 90° al igual que el actuador.

En las ilustraciones siguientes podemos ver su forma física de los productos mencionados.

Ilustración 46. Esquemático del programador controlador y el sensor

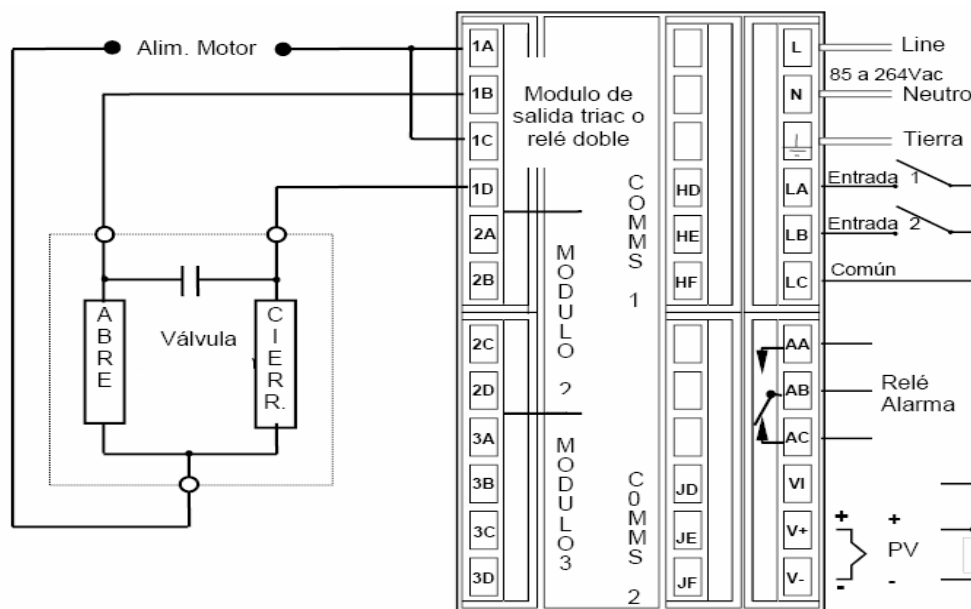


25. CONEXIONES DE LA VÁLVULA ACTUADORA

Las válvulas actuadoras se cablean normalmente a módulos dobles de relés o triacs, instalados en el Módulo 1. o en simples relés o triacs en módulos 1 y 2. En el último caso, por convenio se configura la salida 1 como abrir y la 2 como cerrar. Según la configuración, el control de la válvula se lleva a cabo según uno de estos tres caminos:

1. Sin potenciómetro de posición de realimentación.
2. Con potenciómetro de realimentación usado para monitorizar la posición de la válvula.
No interviene en el control.
3. Con potenciómetro de realimentación, donde la posición de la válvula es controlada en respuesta a la señal desde la misma.

Ilustración 48. Conexión del actuador con el controlador programable



26. PROTOTIPO TERMINADO

26.1 VISTAS DEL PROTOTIPO TERMINADO

Ilustración 49. Primera vista tridimensional de la autoclave terminada

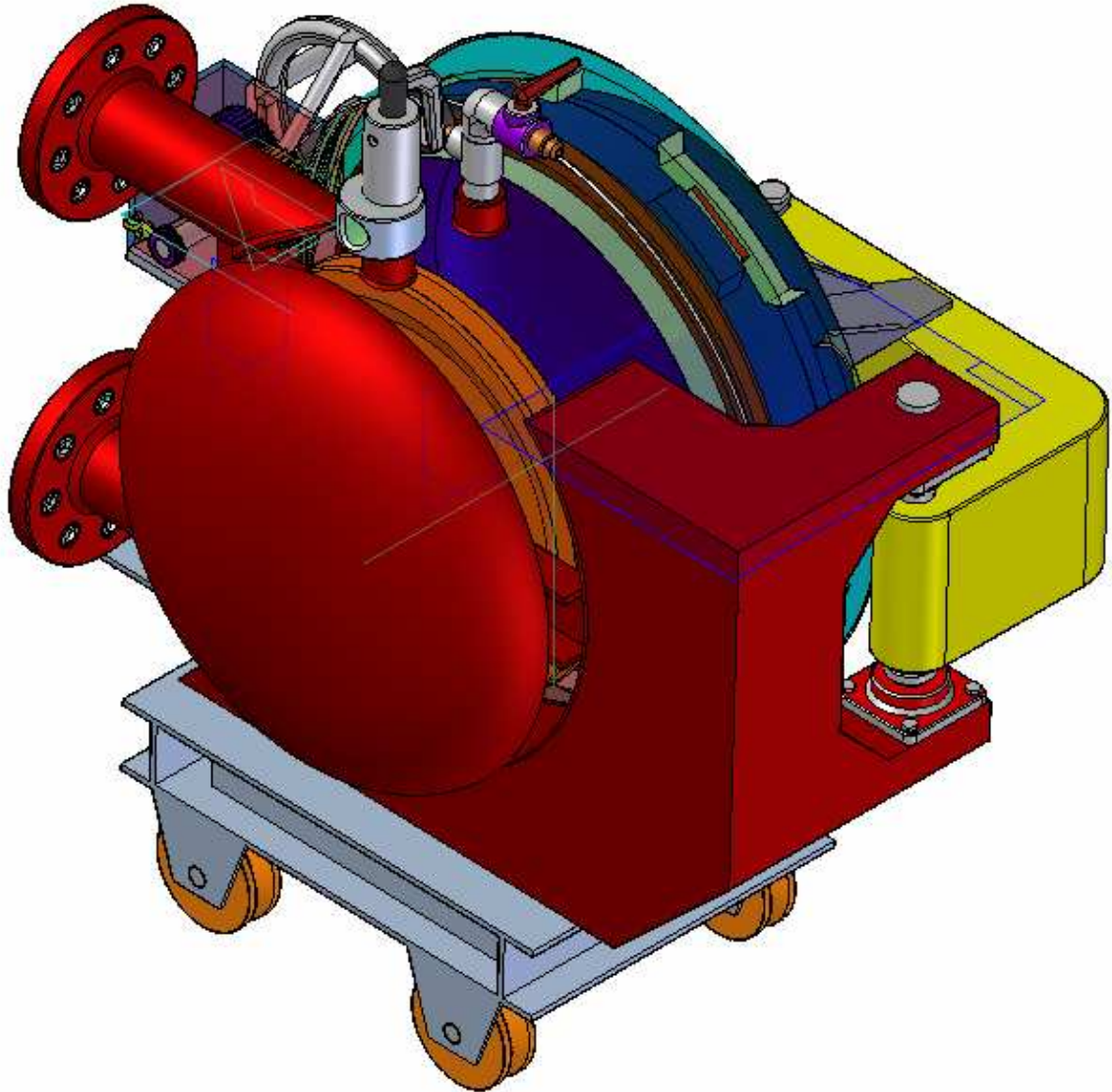


Ilustración 50. Segunda vista tridimensional de la autoclave terminada

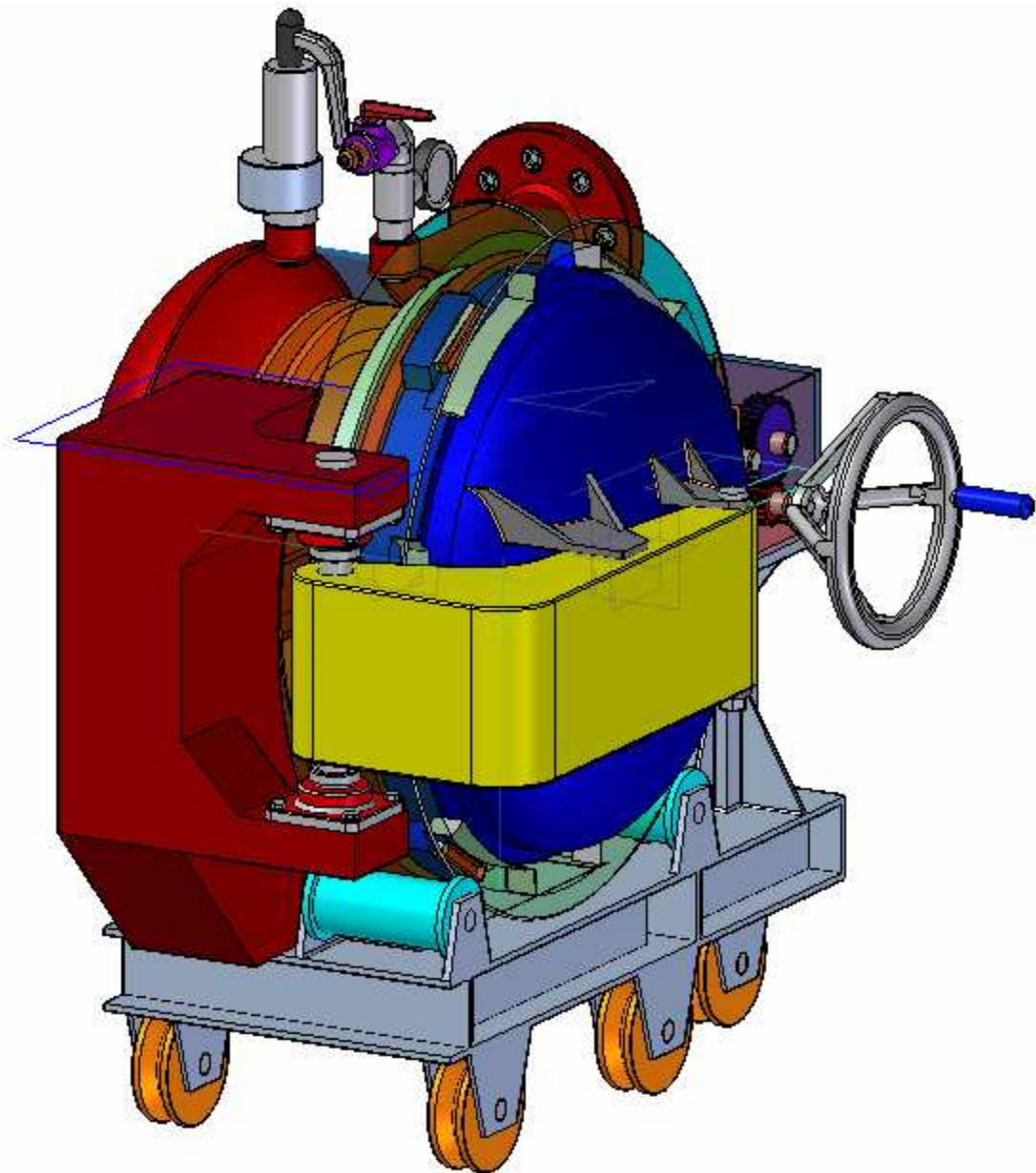
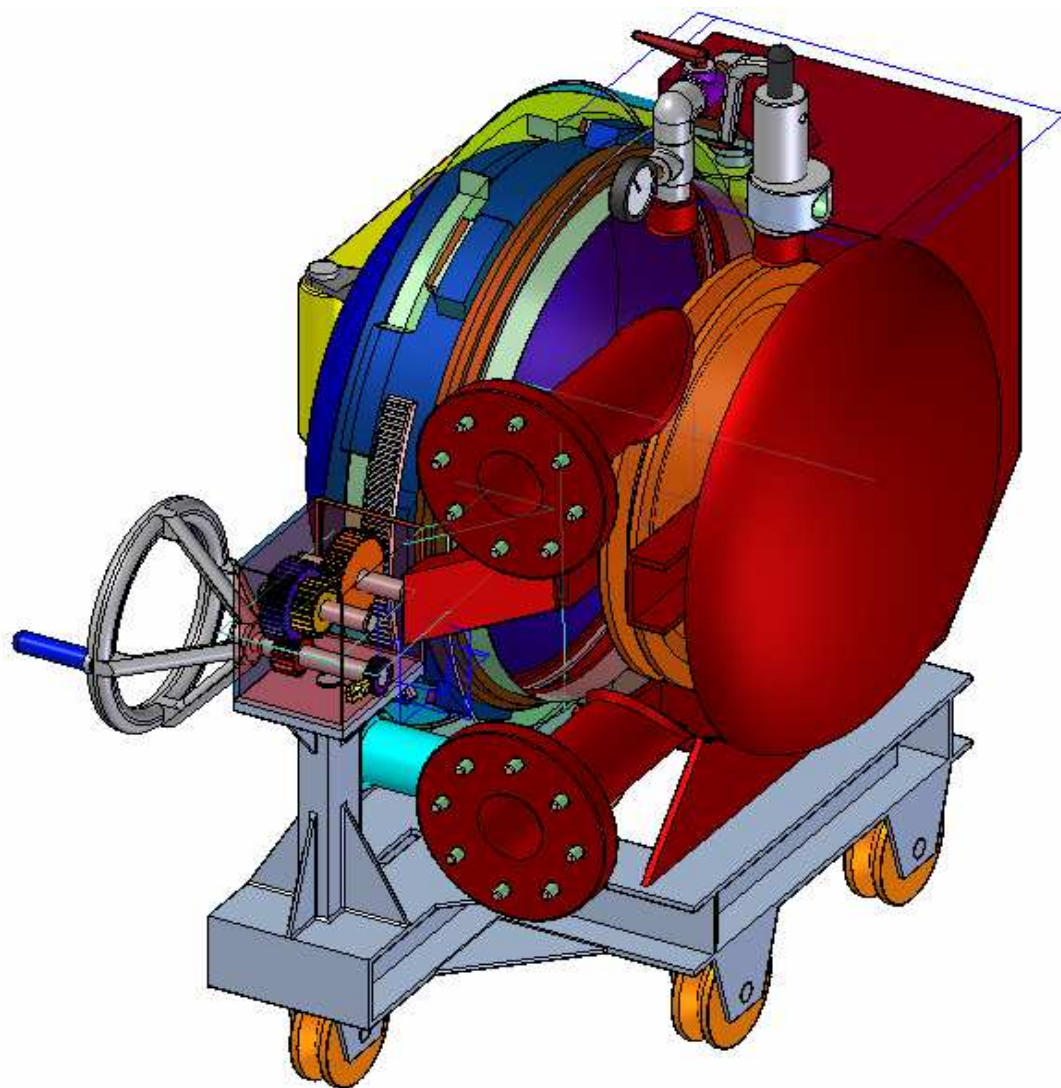


Ilustración 51. Tercera vista tridimensional de la autoclave terminada



27. CONCLUSIONES

-La metodología para el diseño de dispositivos mecatrónicos permite optimizar el proceso de desarrollo de un producto porque se puede agrupar muchas disciplinas de manera concurrente, teniendo en cuenta las necesidades de diseño, restricciones como el costo, y sinergia entre la funcionalidad con la buena estética y ergonomía del producto logrando así ahorro de tiempo y esfuerzo de los diseñadores.

-La definición de la arquitectura de este producto fue crucial para tener la posibilidad de realzar múltiples implementaciones al sistema, además de ofrecer ventajas a la hora de nuevas reformas o rediseños con el fin de mejoras complementarias.

-Se siguieron los parámetros del diseño industrial, buscando garantizar las probabilidades de éxito para el producto, dirigiéndolo al sector industrial de manera que tenga un buen impacto industrial, con el fin de garantizar su reconocimiento y preferencia.

-La elaboración de prototipos en la fase de prototipado, permitió asentar determinados conceptos, además de establecer algunas interacciones incidentales no previstas en fases anteriores.

-Finalmente se entrega el prototipo grafico en 3D, con sus respectivos planos y figuras para el desarrollo y construcción de la máquina como tal, también al fabricante se les deja sus respectivas recomendaciones de trabajo para la construcción de la AUTOCLAVE.

28. RECOMENDACIONES

-Al momento de realizar el montaje de la autoclave en la catenaria, los flanges deben de ser los adecuados con sus respectivos empaques y por lo menos flanges de 600 psi para la conexión de autoclave y catenaria.

-Tenga en cuenta antes de operar la máquina que el empaque de la autoclave este en buen estado o bien posicionado, también recuerde que la tapa de la autoclave debe estar bien cerrada.

-Después del funcionamiento de la máquina tenga en cuenta antes de abrir la autoclave, abrir primero la válvula que se encuentra arriba del manómetro, para eliminar concentraciones de vapor que no percibe el manómetro, evitando así algún tipo de quemadura.

29. FUTURAS MEJORAS

- Diseñar e implementar un sistema hidráulico que abra y cierre la tapa de la autoclave, por medio de dos pistones que den giro a la tuerca o anillo de fuerza.
- Enchaquetar la autoclave internamente con acero inoxidable para evitar al 100% la corrosión.

BIBLIOGRAFÍA

Referencias Web web

Actuador neumático rotativo doble efecto - FESTO - Directindustry, Actuador neumático rotativo doble efecto Typ DRD [en línea]. Germany : Direct Industry, 2005. [consultado el 10 de agosto del 2006]. Disponible en Internet : <http://www.festo.com>

Eurotherm/Barber-colman 2408/2404 High Stability Temperature. controller/Programmers interne, 2408(f) and 2404(f) High Stability Temperature and Process Controller/Programmer [en línea]. Germany : Eurotherm limited, 2006. [consultado 14 de julio del 2006]. Disponible en Internet : <http://www.eurotherm.com>

HISTAND, Michael B.; ALCIATORE, David G. Introduction to Mechatronics and Measurement Systems. New York : McGraw Hill, 1999. 400 p.

NORTON, Robert L. Diseño de Máquinas. México: Prentice Hall, 1999. 1048 p.

Siemens - Process Instrumentation - Positioners (SIPART PS2.Positioner), SIPART PS2 [En línea]. San Luiz : SIEMENS, 2006. [Consultado el 16 de agosto del 2006]. Disponible en Internet : <http://www.siemens.com>

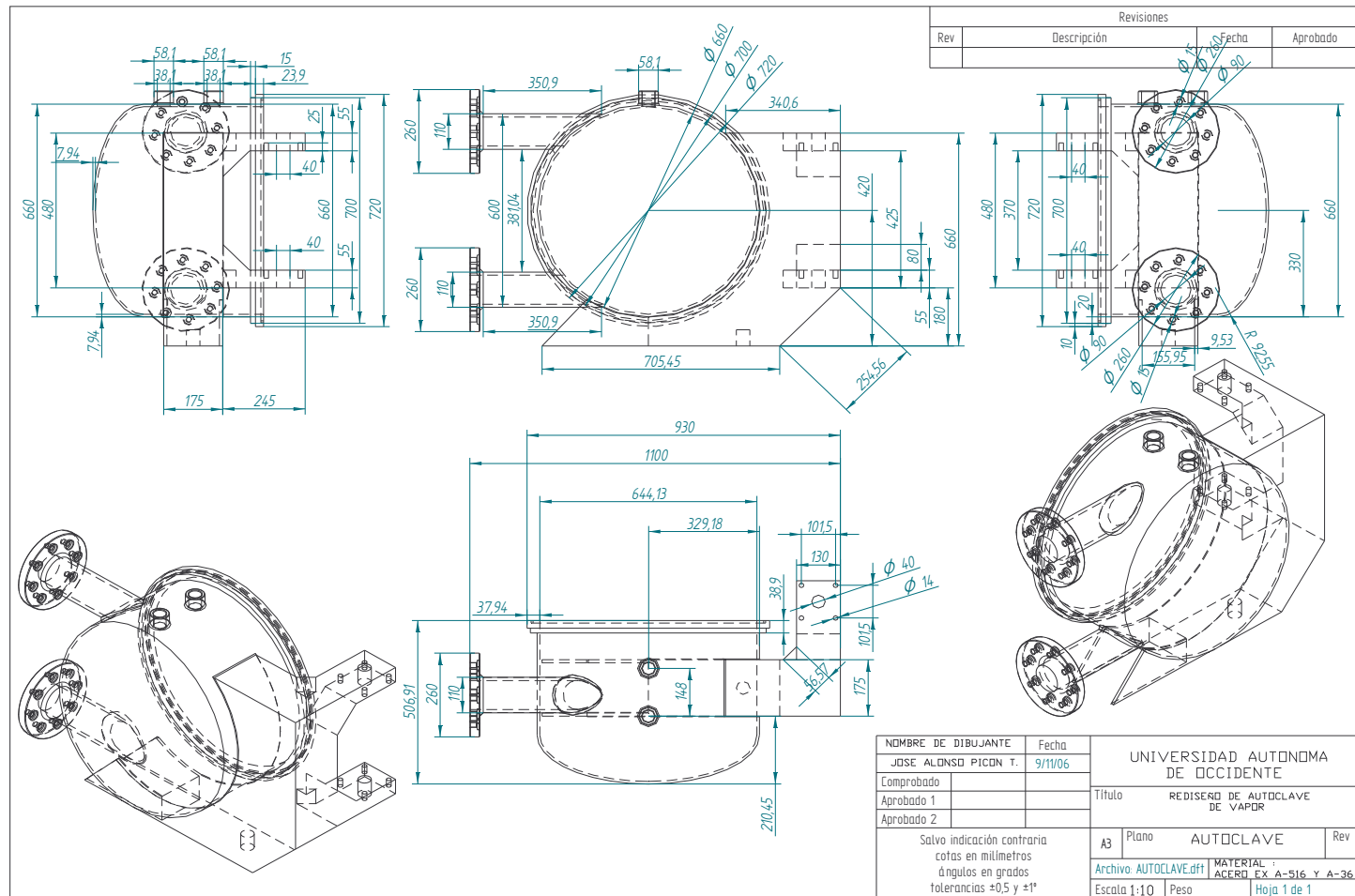
Vulcanizing Autoclave Systems, material Handting Equipment - WSF industries, inc, Vulcanizing Autoclave Systems for the Rubber Industry [en línea]. USA: WSF Industries inc, 2003. [consultado el 3 de agosto 2006]. Disponible en internet : <http://www.wsf-industries.com>

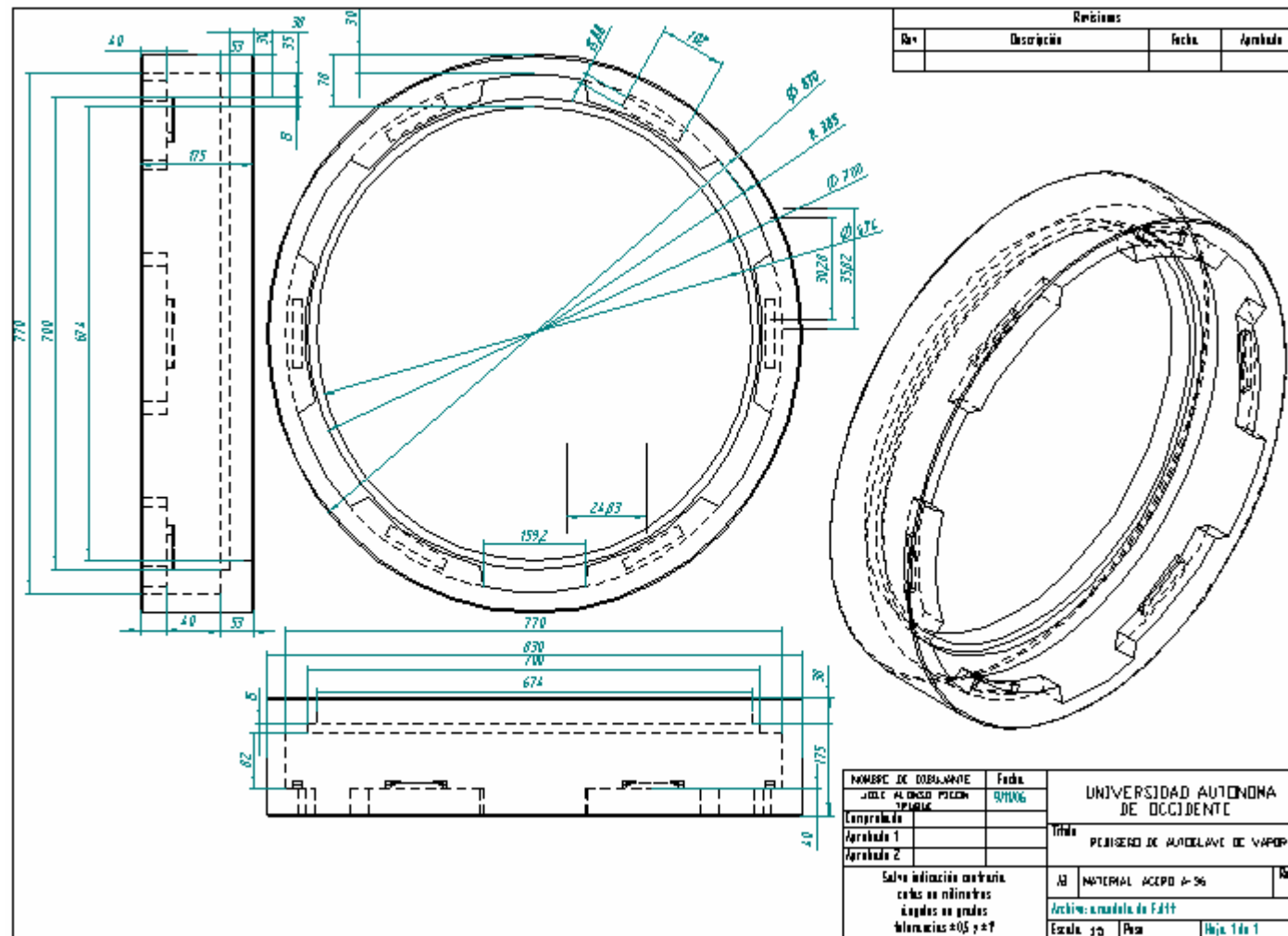
West Coast Engineering group pioneers a New Approach for Analyzing free- standing structures wit : Dynamic Analysis with Damping for Free-Standing Structures Using

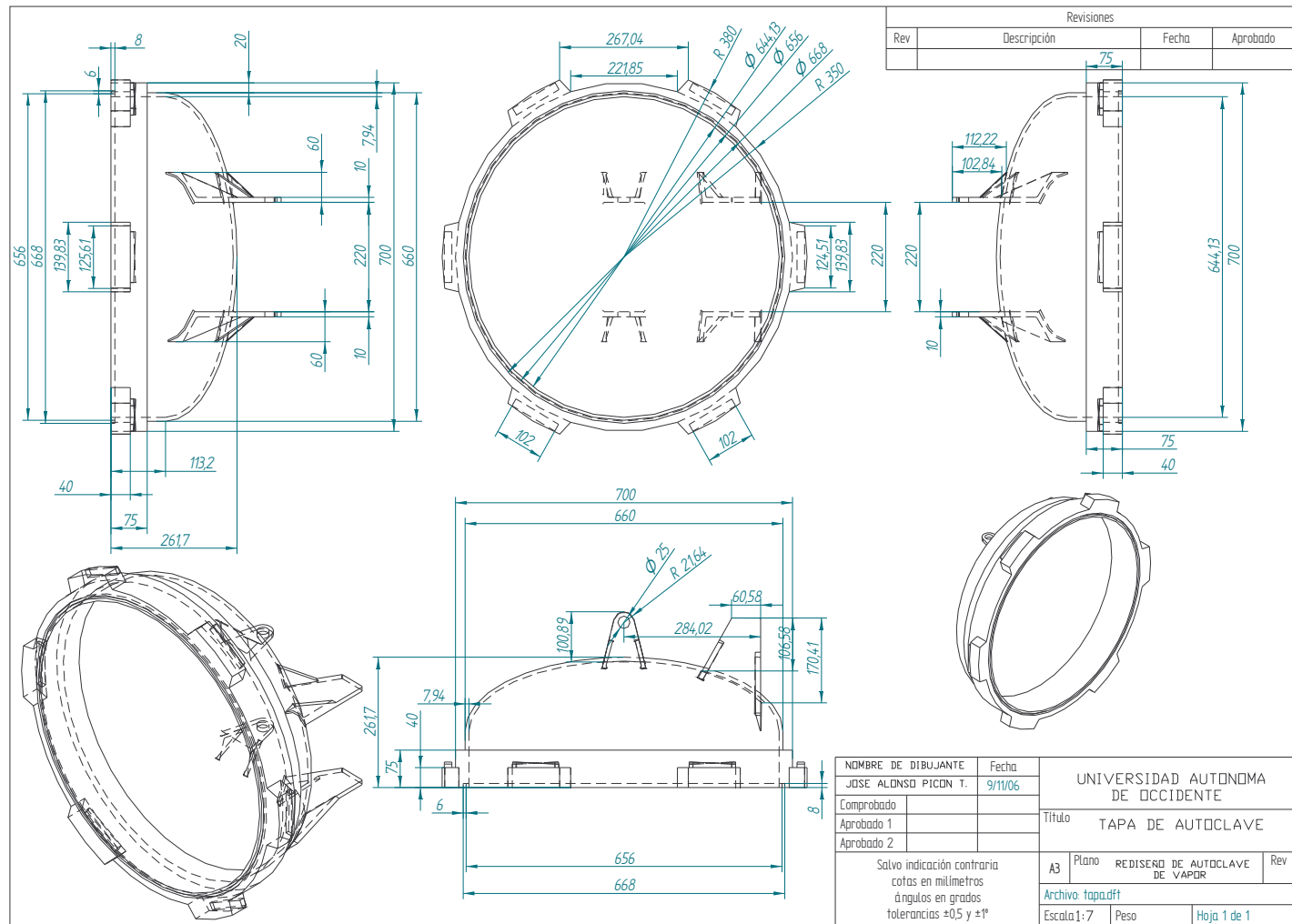
Mechanical Event Simulation [en línea]. Ioan Giosan Grupo del oeste Ltd, 2000. [consultado 10 de octubre del 2006]. Disponible en Internet : <http://www.algor.com>

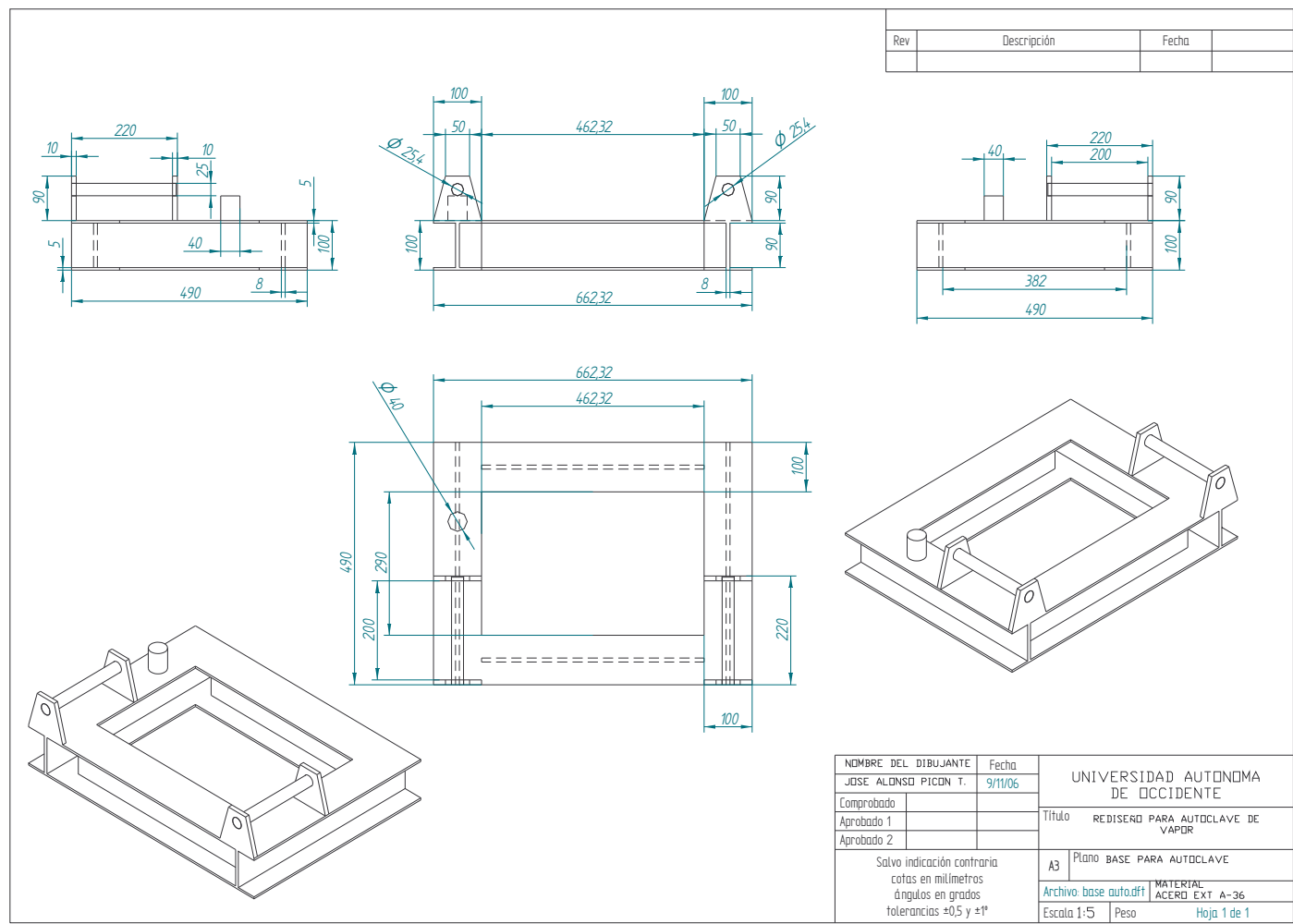
ANEXOS

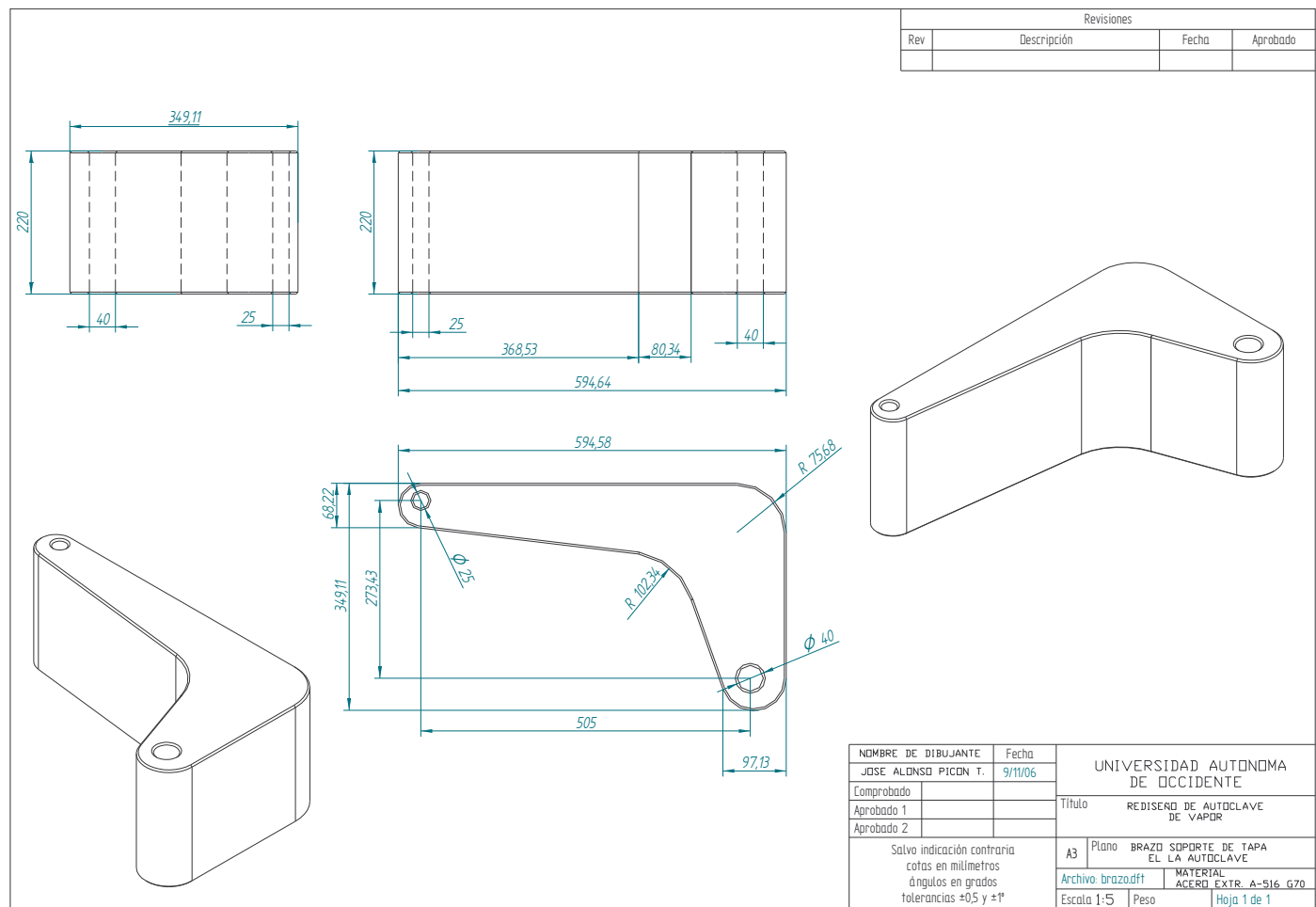
Anexo A. Planos Mecánicos

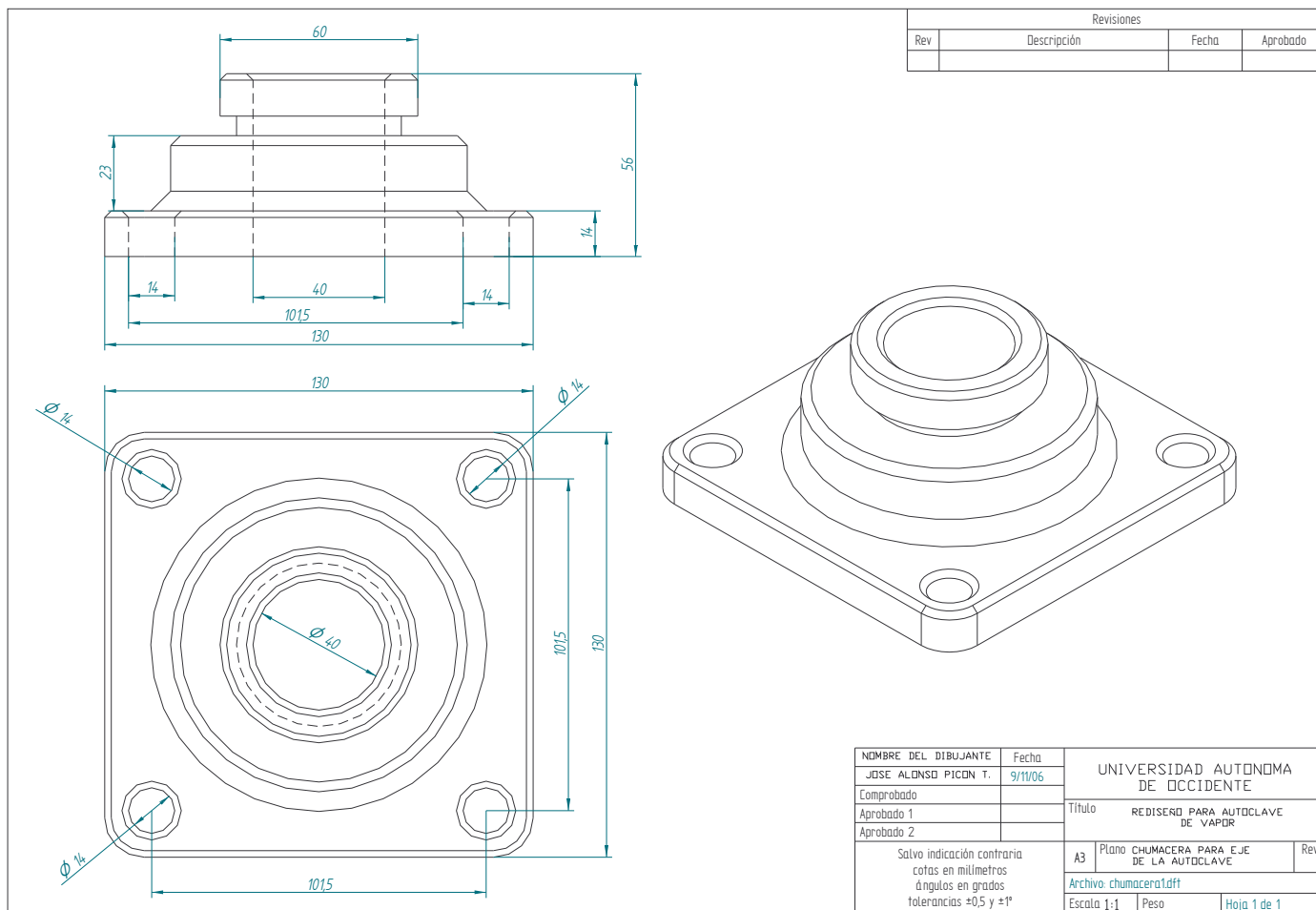


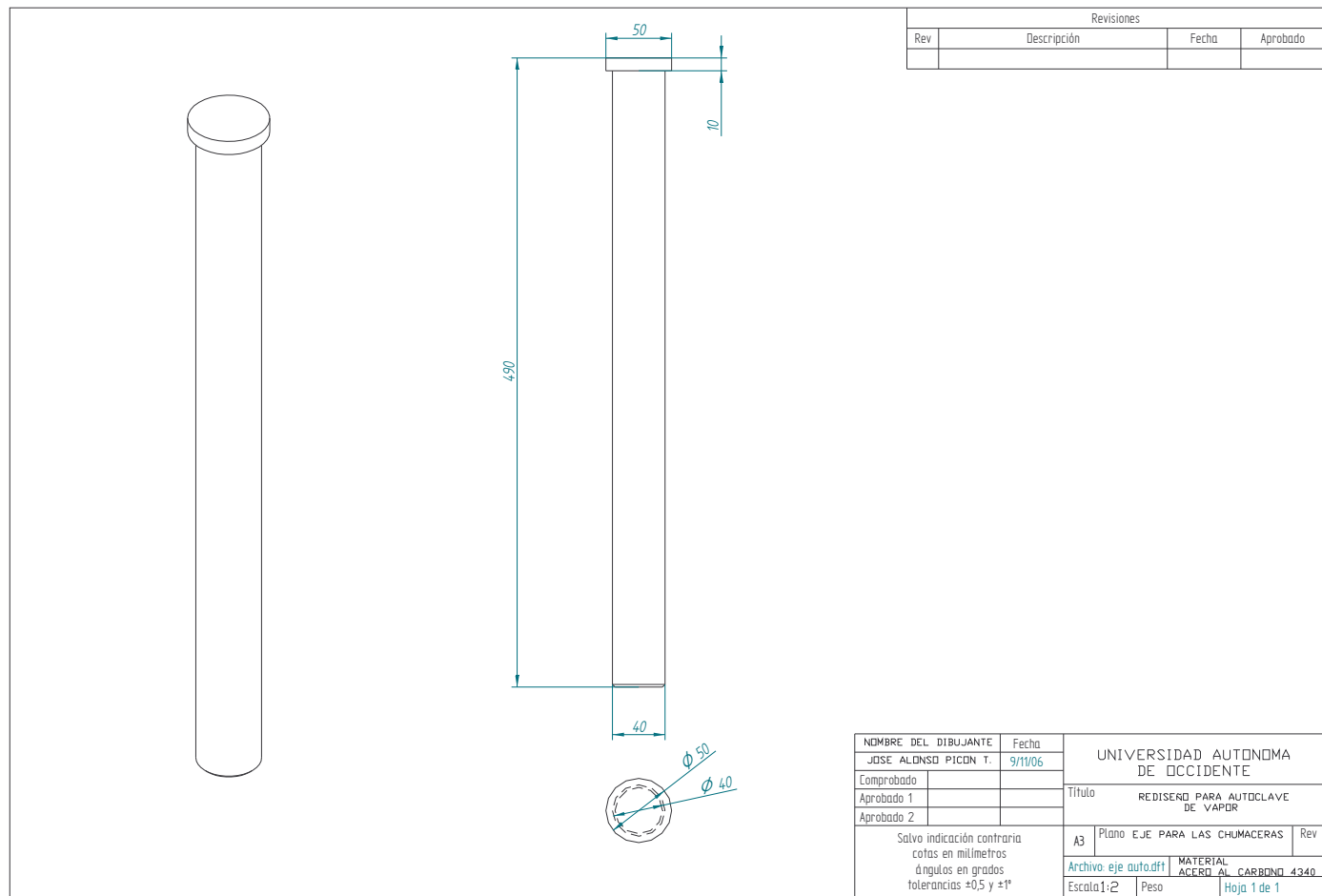


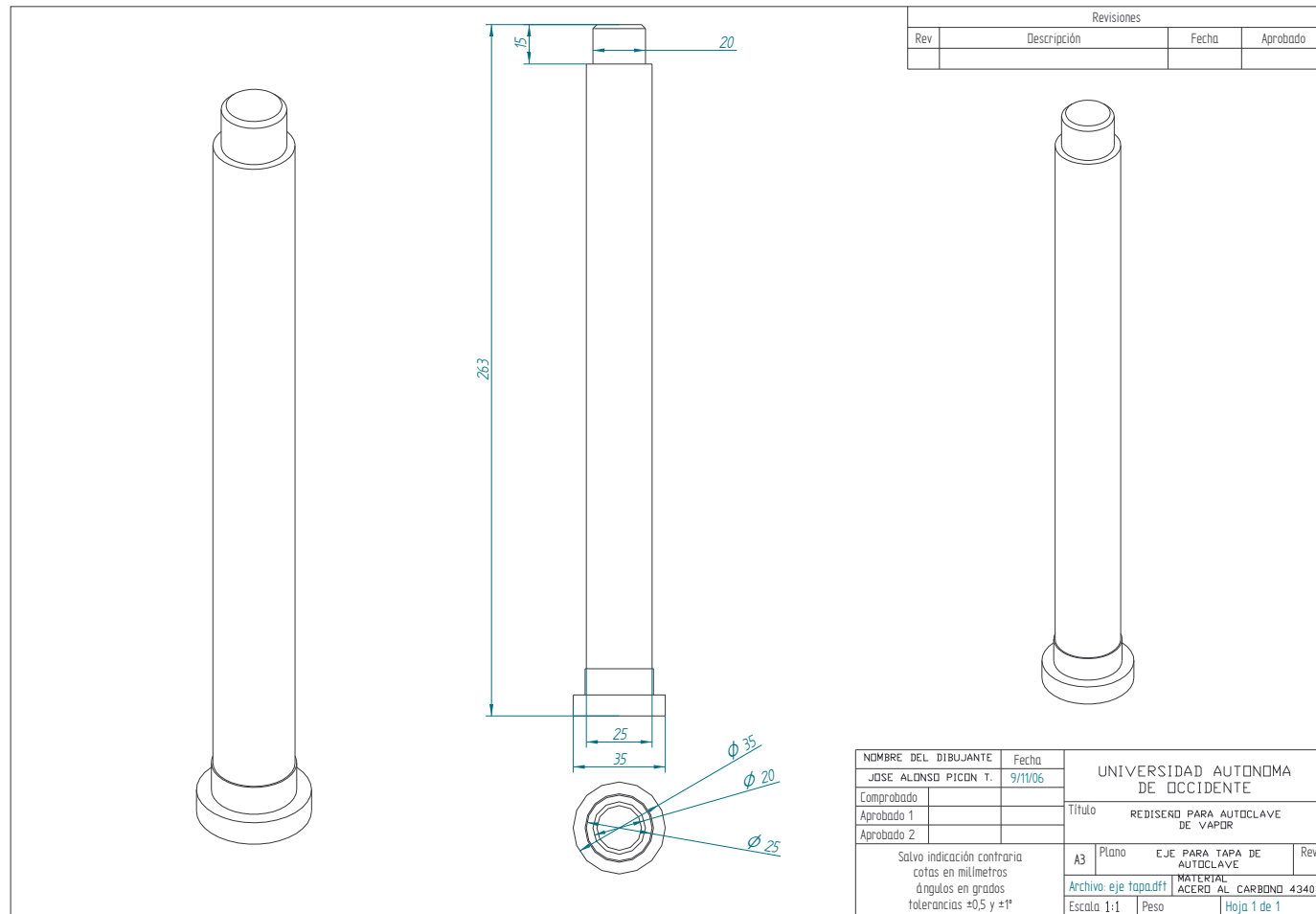


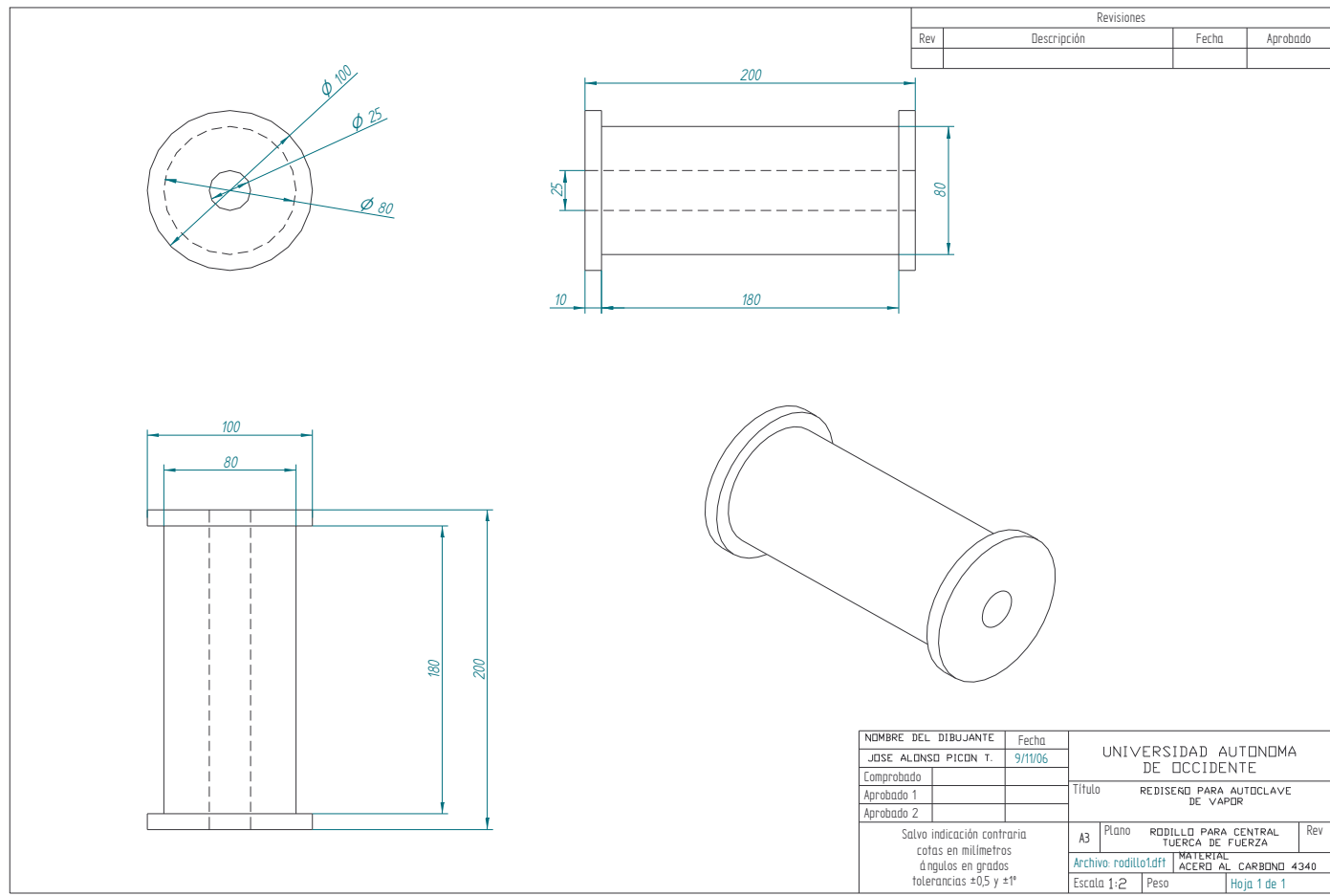


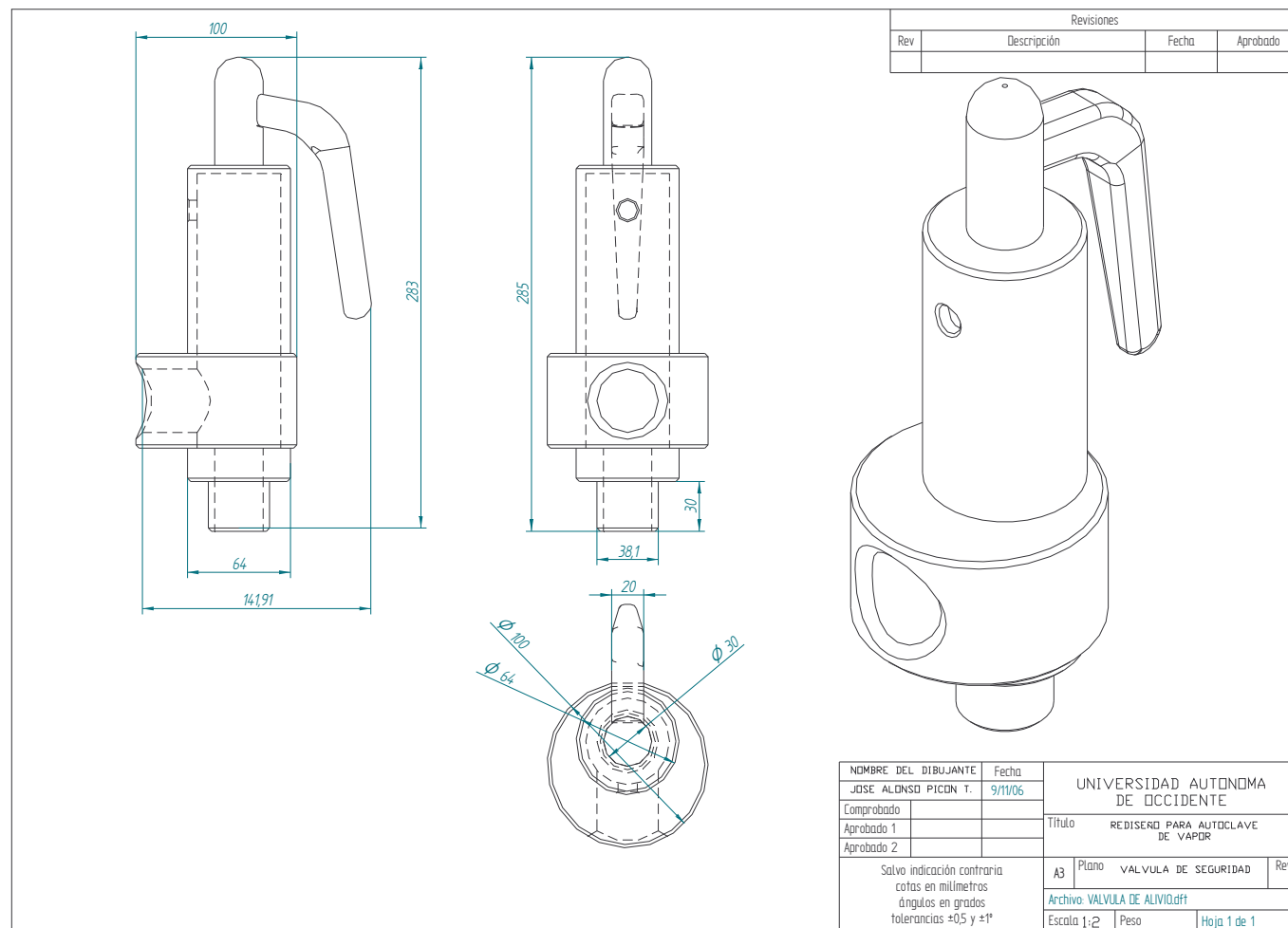


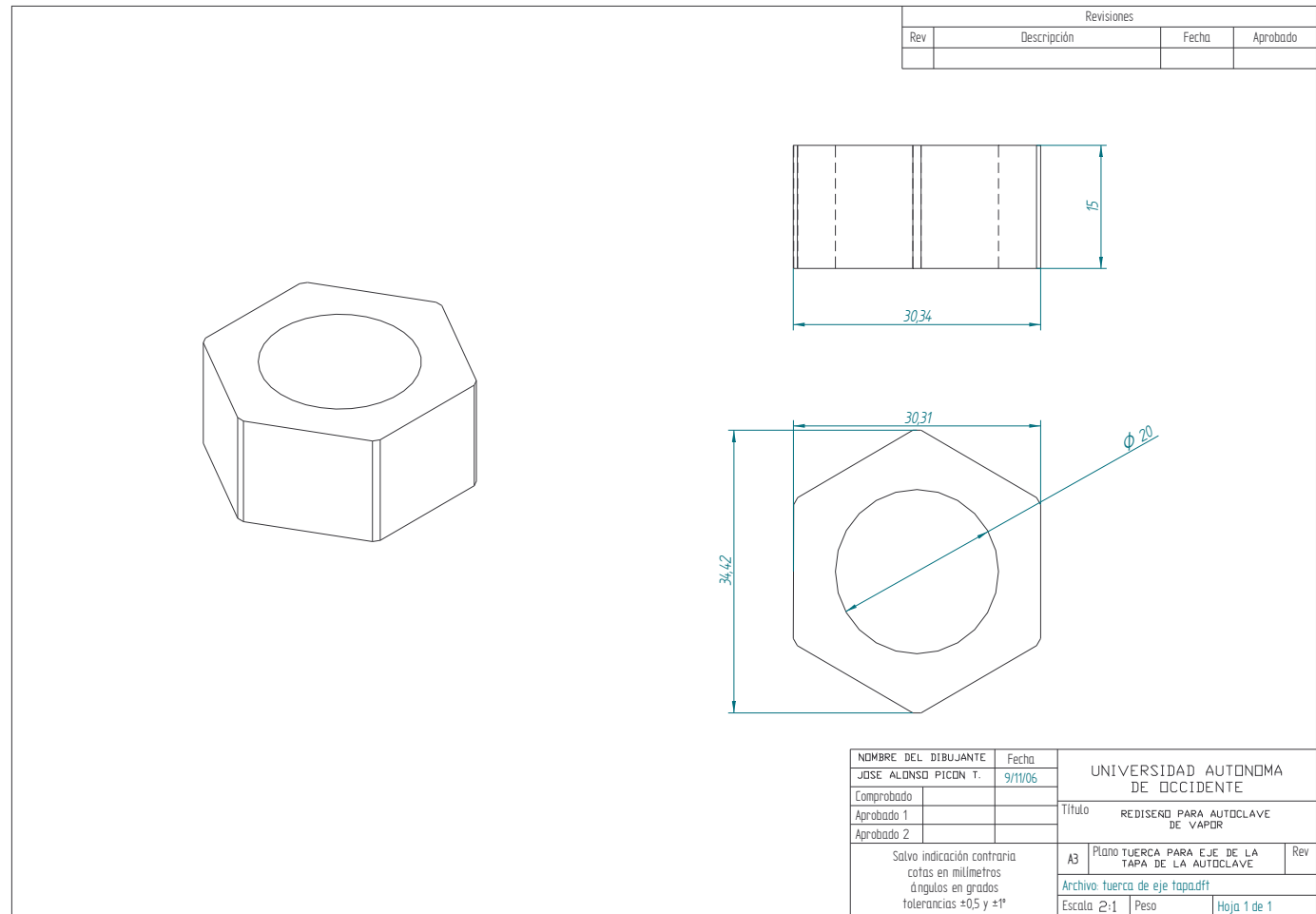












Anexo B. Paper

REDISEÑO Y CONTROL DE PRESIÓN EN LA AUTOCLAVE DE LA MÁQUINA HCV 312, UBICADA EN LA EMPRESA CENTELSA S.A

José Alonso Picón Truque
ALONSOPICON@hotmail.com

Universidad Autónoma de Occidente
División de Ingenierías – Ingeniería Mecatrónica
Calle 25 # 115-85, kilómetro 2 vía Cali-Jamundí
Cali, Colombia

Abstract: El proyecto de rediseño y control en la Autoclave, permitirá a la empresa mejorar sus procesos de producción en cuanto al tiempo y seguridad del operario con la máquina, en este paper se muestra el rediseño de una máquina que no es tan comercial en nuestro país, entonces se toma la decisión de volverla a construir, aplicando en este caso el conocimiento de la ingeniería para el desarrollo de la misma.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la automatización de los procesos en grandes y medianas industrias permite agilizar la producción y a su vez la calidad del producto dando como resultado mayor eficiencia a la hora de ahorrar energía y mejor rendimiento de las maquinarias y lo mejor, mayores ingresos y estabilidad económica de una empresa a mediano plazo.

Según un estudio el 95% de la automatización industrial implementan controladores PID en plataformas como los microcontroladores y PLCs.

En este caso se presenta en la empresa CENTELSA un problema de ingeniería, el cual se encuentra en una de las máquinas de planta 1, dicho problema esta en una parte muy importante de la máquina, la cual por medio de su falla produce un desperdicio de cable alrededor de los 200 metros por cada escape de vapor ocasionado en la AUTOCLAVE, este problema tiene factores de alto riesgo ya que atentan contra la vida de cualquier operario.

Se pretende resolver el problema, solucionando los escapes de vapor en la AUTOCLAVE, se quiere mejorar el sistema mecánico de la AUTOCLAVE e implementar un sistema para resolver los picos de presión.

2. DISEÑO DETALLADO

2.1 CÁLCULOS PARA HALLAR EL ESFUERZO TANGENCIAL DE LA AUTOCLAVE CARGADA DE PRESIÓN

2.2 ESFUERZO TANGENCIAL PERMISIBLE σ_t MAXIMO

DATOS DE LA AUTOCLAVE

De = diámetro exterior, Di = diámetro interior, Re = radio exterior Ri = radio interior

Pe = presión exterior Pi = presión interior R = radio escogido en el espesor

De = 0.66 m Re = 0.33 m R = 0.322065 m **PARA UN ESPESOR DE 7.9375mm**
Di = 0.64413 m Ri = 0.322065 m Pi = 315 PSI

$$\sigma_t = \frac{Ri^2 * Pi}{Re^2 - Ri^2} * \left(1 + \frac{Ri^2}{R^2} \right)$$

$$\sigma_t = \frac{(0.322065 \text{ m})^2 * (315 \text{ PSI})}{(0.33 \text{ m})^2 - (0.322065 \text{ m})^2} * \left(1 + \frac{(0.33 \text{ m})^2}{(0.322065 \text{ m})^2} \right)$$

$$\sigma_t = \frac{0.1037258642 \text{ m}^2 * (315 \text{ PSI})}{0.1089 \text{ m}^2 - 0.1037258642 \text{ m}^2} * \left(1 + \frac{0.1089 \text{ m}^2}{0.1037258642 \text{ m}^2} \right)$$

$$\sigma_t = 6314.80282925 \text{ PSI} * 2.04988279263$$

$$\sigma_t = 12944.6056585 \text{ PSI}$$

$$\sigma_t = 910.0958 \text{ Km/cm}^2$$

2.3 ESFUERZO RADIAL PERMISIBLE σ_r MÁXIMO

$$\sigma_r = \frac{Ri^2 * Pi}{Re^2 - Ri^2} * \left(1 - \frac{Ri^2}{R^2} \right)$$

$$\sigma_r = \frac{(0.322065 \text{ m})^2 * (315 \text{ PSI})}{(0.33 \text{ m})^2 - (0.322065 \text{ m})^2} * \left(1 - \frac{(0.33 \text{ m})^2}{(0.322065 \text{ m})^2} \right)$$

$$\sigma_t = \frac{0.1037258642 \cdot 25m^2 \cdot (315 \text{ PSI})}{0.1089m^2 - 0.1037258642 \cdot 25m^2} \cdot \left(1 - \frac{0.1089m^2}{0.1037258642 \cdot 25m^2}\right)$$

$$\sigma_r = 6314.80282925 \text{ psi} \cdot (-0.04988279263)$$

$$\sigma_r = -315 \text{ PSI}$$

$$\sigma_r = -22.14669 \text{ Km/cm}^2$$

2.4 ESFUERZO LONGITUDINALES σ_l

$$\sigma_l = \frac{P_i \cdot R_i^2}{R_e^2 - R_i^2}$$

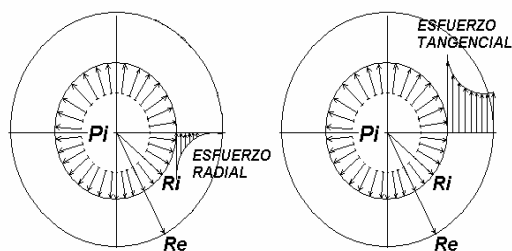
$$\sigma_l = \frac{315 \text{ PSI} \cdot (0.32365 \text{ m})^2}{(0.33 \text{ m})^2 - (0.32365 \text{ m})^2}$$

$$\sigma_l = \frac{315 \text{ PSI} \cdot 0.1047493225 \text{ m}^2}{0.1089 \text{ m}^2 - 0.1047493225 \text{ m}^2}$$

$$\sigma_l = 6314.80282925 \text{ PSI}$$

$$\sigma_l = 443.9746 \text{ Km/cm}^2$$

Ilustración 1. Esquemático de esfuerzo radial y tangencial



3. TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO EN LA AUTOCLAVE DE VAPOR

3.1 PUNTO DE EBULLICIÓN DEL AGUA EN FUNCIÓN DE LA PRESIÓN

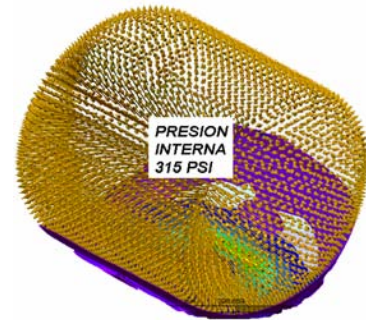
$$T_{Pe} (^{\circ}C) = (PRESION \text{ (MPa)} \cdot (1 \cdot 10^9))^0.25$$

$$T_{Pe} (^{\circ}C) = (2.171849 \text{ (MPa)} \cdot (1 \cdot 10^9))^0.25 = 215.87 ^{\circ}C$$

$$T_{Pe} (^{\circ}C) = 215.87 ^{\circ}C$$

Esto nos quiere decir que la temperatura de trabajo real de la autoclave internamente es de aproximadamente 216 °c.

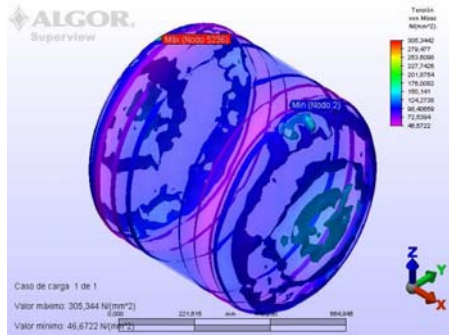
Ilustración 2. Esquemático de presión interna



4. TANQUE DE AUTOCLAVE SOMETIDO A PRUEBAS VIRTUALES DE PRESIÓN EN ALGOR

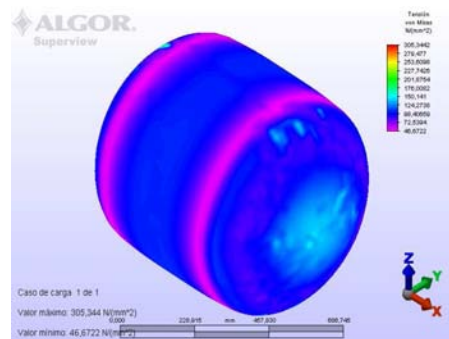
4.1 TENSIÓN VON MISES

Ilustración 3. Esquemático virtual del comportamiento del material internamente



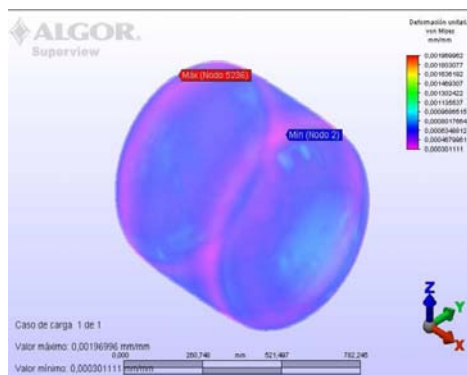
4.2 TENSIÓN VON MISES

Ilustración 4. Esquemático tensión von mises del tanque



4.3 DEFORMACIÓN UNITARIA VON MISES

Ilustración 5. Esquemático deformación unitaria von mises en el tanque



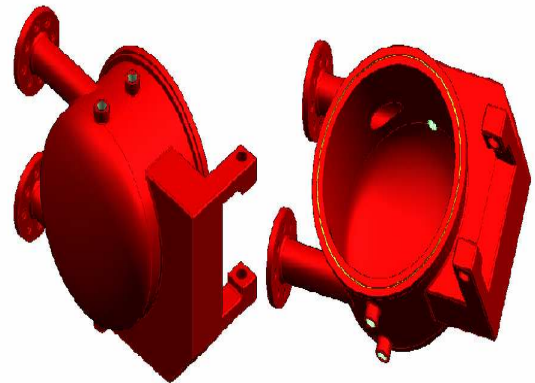
5. DISEÑO GRÁFICO DEL SISTEMA

Teniendo en cuenta las necesidades detectadas, las premisas de la investigación, el concepto seleccionado a desarrollar, la arquitectura modular y el impacto del diseño industrial se rediseñó las siguientes estructuras.

En las siguientes ilustraciones observaremos las partes principales de la Autoclave para su posible construcción.

Se diseñará una autoclave que pueda servir para soportar altas presiones de vapor y un buen acoplamiento de la catenaria en la autoclave, a su vez permitirá en su exterior el acondicionamiento de una válvula de seguridad y una válvula para evacuar gases de vapor no permisibles por el manómetro de presión y en su interior una polea la cual se encarga de cambiarle el giro al cable que se esta produciendo.

Ilustración 6. Estructura AUTOCLAVE



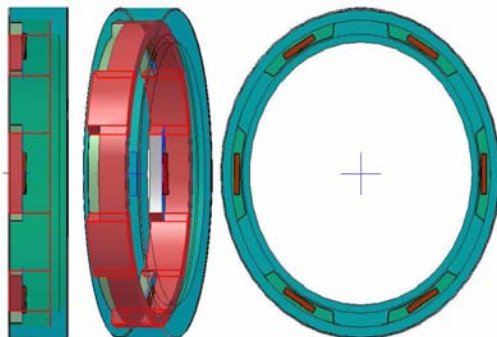
La estructura de esta tapa se diseño por su facilidad de sellado y su velocidad de abrir y cerrar la tapa en la autoclave. Como lo vemos en el gráfico esta operación de sellado es por medio de cuñas, que se encuentran entre si en direcciones opuestas.

Ilustración 7. Tapa de la AUTOCLAVE



Éste anillo de fuerza es un sistema del sistema de rápido funcionamiento a la hora de abrir y cerrar la autoclave, de modo que se encuentran entre si con las cuñas de la tapa, proporcionando un esfuerzo de aplastamiento entre la tapa y la autoclave, logrando así un sellado rápido y fácil, en un giro del anillo menor a 30°.

Ilustración 8. Anillo de fuerza



6. SELECCIÓN DEL MATERIAL SEGÚN SUS CARACTERÍSTICAS

6.1 MATERIALES MÁS COMUNES Y SUS ESFUERZOS PERMISIBLES

Tabla 1. Datos de los esfuerzos permisibles Km/Cm^2 en los materiales candidatos para la construcción de la autoclave

ESPECIFICACIÓN	GRADO	ESFUERZO EN PUNTO DE CEDENCIA	ESFUERZO A LA TENSIÓN	ESFUERZO DE DISEÑO	ESFUERZO DE PRUEBA
ASTM					
A-283	C	2110	3870	1410	1580
A-285	C	2110	3870	1410	1580
A-131	A,B,CS	2390	4080	1600	1750
A-36		2530	4080	1630	1750
A-131	EH06	2580	4960	1200	2140
A-442	55	2110	3870	1410	1580
A-442	60	2250	4220	1500	1690
A-573	58	2250	4080	1500	1690
A-573	65	2460	4570	1640	1850
A-573	70	2560	4920	1970	2110
A-516	55	2110	3870	1410	1580
A-516	60	2250	4220	1500	1690
A-516	65	2460	4570	1640	1850
A-516	70	2670	4920	1780	2000
A-662	B	2810	4570	1830	1960
A-662	C	3020	4920	1970	2110
A-637	1	3510	4920	1970	2110
A-637	2	4220	5620	2250	2410
A-633	C,D	3510	4920	1970	2110
A-678	A	3510	4920	1970	2110
A-678	B	4220	5620	2250	2410
A-737	B	3510	4920	1970	2110

6.2 MATERIAL ESCOGIDO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA AUTOCLAVE

Tabla 2. Datos y características del material escogido

7.3. LAMINAS HOT ROLLED O LAMINADAS EN CALIENTE

DIMENSIONES Y PROPIEDADES PARA EL DISEÑO													
Calidades más comunes		COMPOSICIÓN QUÍMICA						PROPIEDADES MECÁNICAS				APLICACIONES MÁS FRECUENTES	
		L	C	MN	P	S	CU	LÍMITE ELÁSTICO	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	% ALARGA			
ASTM	DIN	(x 100) (100) (x 100) (x 100) (x 100) (x 100)											
A-36	ST 37-12	MN		80		15		23 kg/mm2	41 kg/mm2	400 Mpa	20	Estructuras metálicas en general	
		MAX	25	120	4	30	20	25 kg/mm2	250 Mpa	56 kg/mm2	550 Mpa		
A-203 GR C	AST 37-12	MN		50		7			39 kg/mm2	380 Mpa	20	Tanques de almacenamiento	
		MAX	18	90	3.5	35	30	21 kg/mm2	205 Mpa	46 kg/mm2	450 Mpa	23	
A-203 GR C		MN							38 kg/mm2	380 Mpa	23	Recipientes a presión de baja e intermedia resistencia a la tracción	
		MAX	20	90	3.5	35		21 kg/mm2	205 Mpa	46 kg/mm2	515 Mpa	27	
A-131 GRA	AST 34-12	MN		53					41 kg/mm2	400 Mpa	21	Construcción naval en general	
		MAX	21		4	4	50.4	23 kg/mm2	235 Mpa	50 kg/mm2	490 Mpa	24	
A-516 GR 70		MN	27	85		15			49 kg/mm2	485 Mpa	17	Recipientes a presión	
		MAX	31	120	4	3.5	40	27 kg/mm2	260 Mpa	63 kg/mm2	620 Mpa	21	temperaturas media-alta
A-514 GRA	RQT 601	MN			1.5				71 kg/mm2	690 Mpa		Resistencia a la abrasión	
		MAX	20	150	3.5	4	50	64 kg/mm2	600 Mpa	87 kg/mm2	850 Mpa	19	

7. REQUERIMIENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA AUTOCLAVE DE VAPOR

Después de obtener los esfuerzos de diseño con los cálculos anteriores, vamos a la tabla 16 de esfuerzos permisibles y comparamos, que el resultado obtenido por los cálculos anteriores estén por debajo del esfuerzo de diseño que aparece en la tabla.

Luego escogemos el material indicado para dicha operación, que va a estar sometido a presión de vapor y calor, para éste trabajo se escogió el acero estructural A-516 grado 70, que es uno de los materiales mas comerciales en el área de tanques y en nuestro país. Éste material se empleará para el desarrollo y construcción del tanque de la

autoclave por que cumple con todos los requerimientos analizados.

En el proceso de construcción se realizará el desarrollo del tanque, para luego unir las partes con soldadura, se recomienda antes de unir las piezas un buen chaflán a 45° por ambos lados para cada unión, éste proceso requiere en la unión primero una soldadura de colchón 6010 para la penetración, luego para terminar ira la 7018 como soldadura de fundición.

De acuerdo a las piezas de soporte del tanque o la autoclave, se realizara el enchapado o enchaquetado de dicha estructura con acero estructural A-36.

Los ejes o pasadores de la tapa de la autoclave, se realizarán o se construirán en acero 4340 debido a su buena resistencia mecánica.

En la construcción de la entrada y salida de la autoclave con la catenaria se escogió un acero para tubería según la norma ASTM, el Schedule 80 debido a las condiciones de trabajo en donde será sometido.

Los dos flanges que van en el final de la tubería escogida según ASTM, serán FLANGES de 600 PSI para mayor seguridad.

Nota: todas las partes o piezas de la autoclave, fueron sometidas al mismo programa de diseño en el que fue diseñado el tanque, para luego hallar todos los esfuerzos mecánicos de los materiales y así escoger su dimensión o calibre de cada pieza.

8. SELECCIÓN DEL ACTUADOR PARA ABRIR Y CERRAR LA VÁLVULA DE BOLA A CONTROLAR

En el momento de escoger el actuador para la válvula se debió tener en cuenta el momento de arranque de la válvula, momento necesario para conseguir que abra el elemento de cierre de una válvula de modo fiable y bajo las circunstancias existentes de temperatura y presión.

En la alimentación de aire comprimido, el dimensionamiento depende de la presión mínima necesaria en todo momento.

Es necesario saber con que tipo de válvula trabajaremos para determinar el modo fiable del momento de arranque de la válvula, ya sea utilizando datos ofrecidos por el fabricante o recurriendo a tablas, es indispensable conocer las condiciones imperantes en la aplicación en cuestión.

-Medio de transmisión.

-Temperatura, concentración y viscosidad del fluido.

-Gas o líquido con o sin contenido graso.

-Presencia de sustancias que puedan depositarse o aglutinarse.

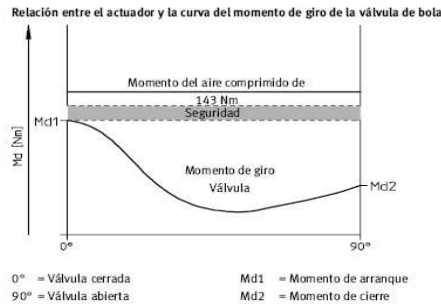
-Presión diferencial en la válvula.

-Factor de seguridad, recomendable, como mínimo un factor de 1.2 (20% de seguridad) al elegir un actuador giratorio.

Para elegir el actuador se trabajó y se puso en prueba lo anterior y se determinó el momento de arranque de la válvula, por medio de un torquimetro, marcándonos de tal manera un momento de 80 Nm, aplicándole así un factor de seguridad de 1.2 para la selección de este. Esto significó que el momento de giro para la selección del actuador a trabajar debe estar por encima de 96 Nm.

Según la investigación en el mercado encontramos un actuador de giro de doble efecto, llamado COPAR DRD-14-FO5 con una presión para 6 bares ocasionando un momento de giro de 143 Nm como lo veremos en la siguiente ilustración 22, dado que se trata de un sistema piñón cremallera, provocando que el momento de giro se constante de (0 a 90°), siendo así el elegido para cumplir este tipo de trabajo.

Ilustración 9. Curva de momento de giro en la válvula de bola



Finalmente se escoge el actuador neumático con su respectivo posicionador electro neumático, para poder controlar la válvula, con un controlador programable, este actuador con su posicionador electroneumático lo podemos ver en la siguiente ilustración 22.

Ilustración 10. Actuador COPAR DRD-14 con su respectivo posicionador electroneumático



9. DISEÑO DEL CONTROLADOR PARA EL SISTEMA DEL ACTUADOR

Finalmente el modelo lineal izado alrededor de los puntos de equilibrio $x_1 = 0$; $x_2 = 0$;
 $u = 0$

Considerando el siguiente sistema :

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

Control por realimentación de estados tal que los polos queden ubicados en:

$$S_1 = -2$$

$$S_2 = -3$$

Se observa que el sistema es inestable con polos en:

$$S_1 = 1$$

$$S_2 = 2$$

Lo primero que se debe de hacer es verificar si el sistema es completamente controlable :

```
a = [1,0;0,2]
a = 1 0
    0 2
b = [1;1]
b = 1
    1 1
c = [1;1]
c =
    2 1
d = [0]
d =
    0
Co=ctrb(a,b); rank(co)
ans = 2
```

El sistema es completamente controlable, entonces puedo asignar polos

arbitrariamente.

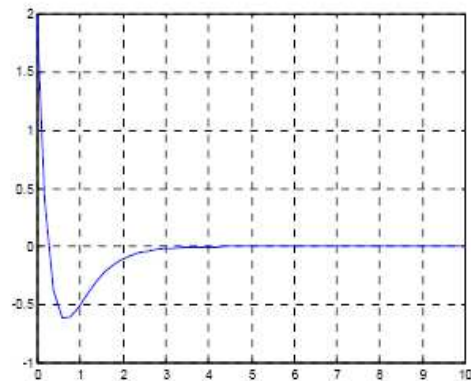
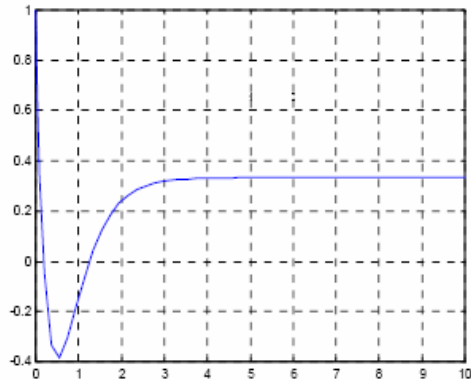
```
pd = [-2,-3]
pd =
    -2 -3
k = place(a,b,pd)
place: ndigits= 15
k =
    -12.0000 20.0000
```

Las constantes de ganancia son :

$$K_1 = -12$$

$$K_2 = 20$$

Ilustración 11 del esfuerzo de control
Ilustración 12 sistema en equilibrio



Seguidor

Cuando se calcula un seguidor se debe tener en cuenta que dichos cálculos deben realizarse con las matrices aumentadas pero las simulaciones se hacen con el sistema normal.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & [0] \\ -c & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b \\ 0 \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} r$$

```
aa=[ a,zeros(2,1);-c,0]
aa=
```

```
    1    0    0
    0    2    0
   -1   -1    0
```

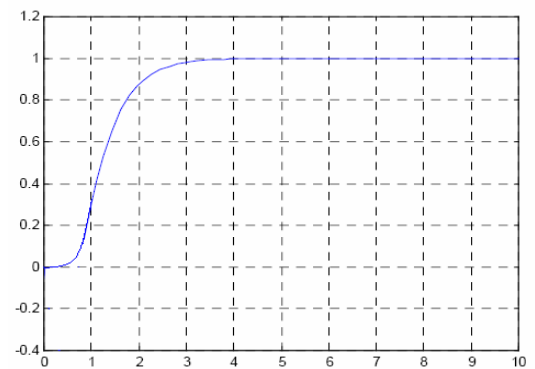
```
ba=[b;0]
ba=
```

```
    1
```

```
    1
    0
pda=[ -2,-3,-20]
pda=
    -2    -3   -20
kpi=place(aa,ba,pda)
place:ndigits=15
kpi=
   -212.0000   240.0000   40.0000
kp=[-212,240]
kp=
   -212    240
ki=[40]
ki=
    40
```

Las dos primeras columnas corresponden a kp la ultima columna es ki

kp=[-212 240] ki=[40]
Ilustración 13. Grafica del control estable



Se observa en la gráfica que el control estabiliza el sistema y que este no presenta error de estado estacionario.

9.1 Diseño de controlador dentro del espacio de estado Para el diseño de controladores dentro del espacio de estado es necesario trabajar con un modelo de planta a partir de dicha expresión se diseñaran los controladores por este método aplicando dos técnicas, la primera por asignación de polos y la segunda por optimización lineal cuadrático.

9.2 Diseño de un regulador por realimentación del estado mediante asignación de polos (AP) Para este regulador es necesario partir del sistema lineal, como este sistema fue linealizado alrededor

de los puntos de equilibrio $x_1=0$, $x_2=0=0$ se espera que el resultado sea un control de posición de la válvula en el origen o punto de equilibrio literalmente estable en donde el actuador realiza el esfuerzo mínimo.

La ley de control para el regulador viene dada por la siguiente ecuación
 $u = -KX$

Donde $K=[K_1 \ K_2 \dots K_n]$ es el vector de ganancias de estado. La técnica de control por asignación de polos permite calcular los valores de K, de modo que los autovalores de $(A-BK)$ en lazo cerrado se encuentren en el lugar deseado.

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$y = Cx$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$C = [1 \ 0]$$

Teniendo las matrices se procede a encontrar los polos que se asignaran para el cálculo las ganancias K.

Se determina un sistema sub amortiguado con $\xi=0.8$ con un tiempo de estabilización igual a 3 segundos. $T_s= 3s$ Con los datos anteriores se obtiene el siguiente polinomio deseado:

$$\xi = 0.8$$

$$ts = \frac{4}{\xi \omega_n}$$

$$\omega_n = \frac{4}{\xi ts}$$

$$\omega_n = \frac{4}{0.8 * 3}$$

$$\omega_n = 1.66667$$

$$P_{(\lambda)} = \lambda^2 + 2\omega_n \xi + \omega_n^2$$

$$P_{(\lambda)} = \lambda^2 + 2.66667\lambda + 2.77778$$

$$\lambda_1 = -1.3333 + 1i \quad \lambda_2 = -1.3333 - 1i$$

Polos deseados: $Pdes_M = [-1.3333+1i, -1.3333-1i]$ se aumenta 8 veces la parte real de los polos debido a que el sistema de control de vapor es de orden 2

Los valores de K se hallan por medio del comando acker de matlab que hace honor al uso de la fórmula de Ackerman para el cálculo de las ganancias K

$$K = \text{acker}(A, B, Pdes)$$

$$K = [8.8281 \quad 6.1532]$$

9.3 EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROLADOR SE NECESITA TENER EN CUENTA LO SIGUIENTE:

Un ajuste que se adecue a las características del proceso con objeto de obtener un buen control.

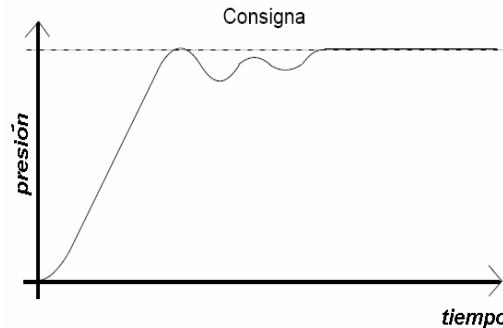
Un buen control significa :

- Una regulación estable de la presión en el punto de consigna sin fluctuaciones.
- Ni excesos (overshoot) ni deficiencias (undershoot) de presión para el punto de consigna
- Rápida respuesta a las desviaciones del punto de consigna causadas por perturbaciones externas, conduciendo así rápidamente la presión al valor ajustado. El ajuste implica el cálculo y fijación del valor de los parámetros listados en la Tabla 4-1. Estos parámetros aparecen en la lista PID

Tabla 3. Significados de los parámetros de control

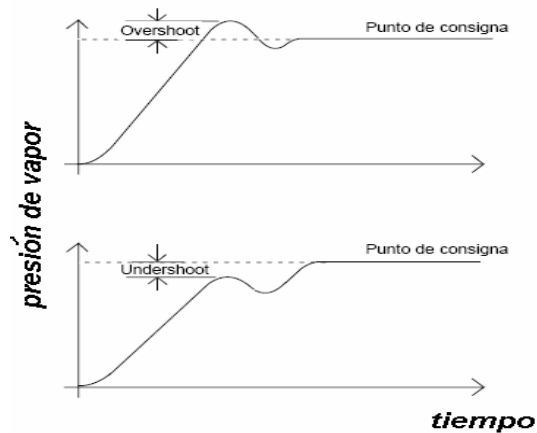
Parámetro	Significado o Función
Banda proporcional	El ancho de banda en unidades de pantalla en la cual la potencia de salida es proporcional entre un mín y un máximo.
Tiempo Integral	Determina el tiempo empleado por el controlador para eliminar las señales estacionarias de error
Tiempo derivado	Determina con qué fuerza reaccionará el controlador a la velocidad de cambio de una variable medida.
Corte alto	El número de unidades de pantalla por encima del punto de consigna a las que el controlador aumentará la potencia de salida con objeto de evitar deficiencias en el enfriamiento
Corte bajo	El número de unidades de pantalla por debajo del punto de consigna a las cuales el controlador cortará la potencia de salida con objeto de evitar excesos en el calentamiento
Ganancia rel. de enfriam.	Presente solo si se ha configurado el enfriamiento. Ajusta la banda proporcional de enfriamiento multiplicando el valor de Pb por el valor de rEL.

Ilustración 14. Control sub amortiguado del sistema en un tiempo de 2,7 segundos



El procedimiento anterior ajusta los parámetros para un control estable y óptimo. Si aparecen niveles inaceptables de exceso (overshoot) o deficiencia (undershoot) durante el arranque o para grandes cambios de presión, entonces deben arreglarse manualmente los parámetros de corte.

Ilustración 15. Niveles inaceptables en el control de presión

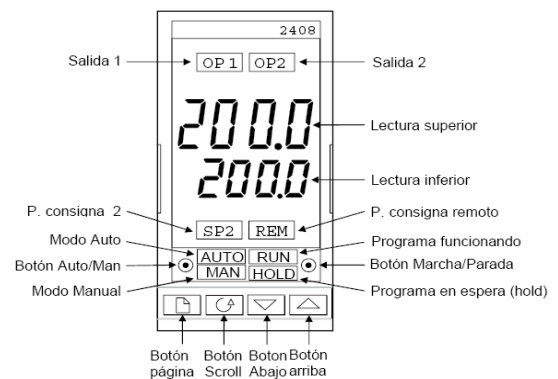
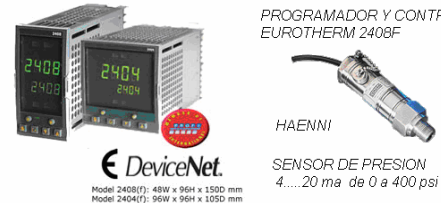


10. SELECCIÓN DEL CONTROLADOR PROGRAMABLE EN VASE A LO INVESTIGADO

10.1 Controlador programable Este controlador juega un papel importante ya que es el que controla el posicionador electroneumático, también es importante por que este es el que permite entregarle al actuador la posición de la válvula dependiendo de la señal del sensor resistivo de 4 a 20 mA . La válvula tiene un recorrido de 0 a 90° al igual que el actuador.

En las ilustraciones siguientes podemos ver su forma física de los productos mencionados.

Ilustración 16. Esquemático del programador controlador y el sensor



11. PROTOTIPO TERMINADO

De acuerdo con los requerimientos anteriores para la construcción de la autoclave, se desarrollaron los planos teniendo en cuenta las dimensiones de la antigua autoclave, respecto a las dimensiones del diseño calculado en la nueva autoclave y se concluye que algunas partes de la autoclave anterior no eran las mas adecuadas, también se encontró sobre diseño en algunas piezas en fin esto sirvió para construir el prototipo virtual, para el desarrollo de la nueva autoclave.

Ilustración 17. Vista de autoclave terminada

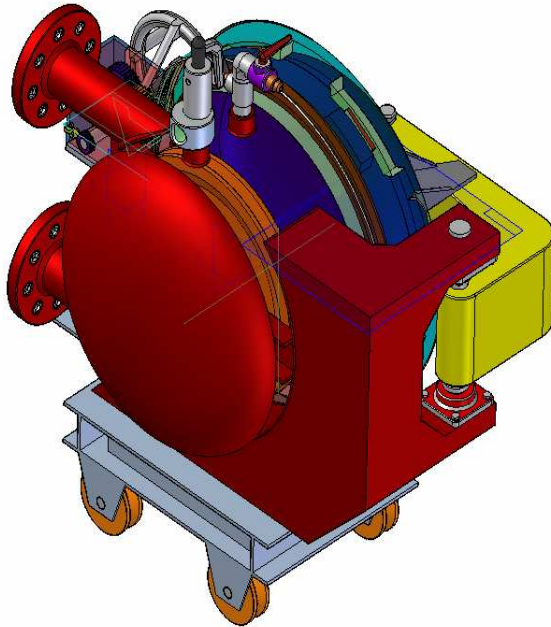


Ilustración 18. Segunda vista principal de la autoclave

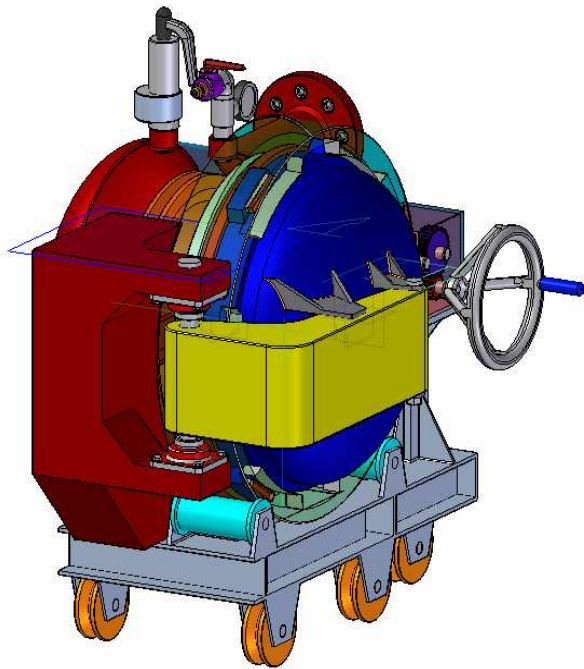
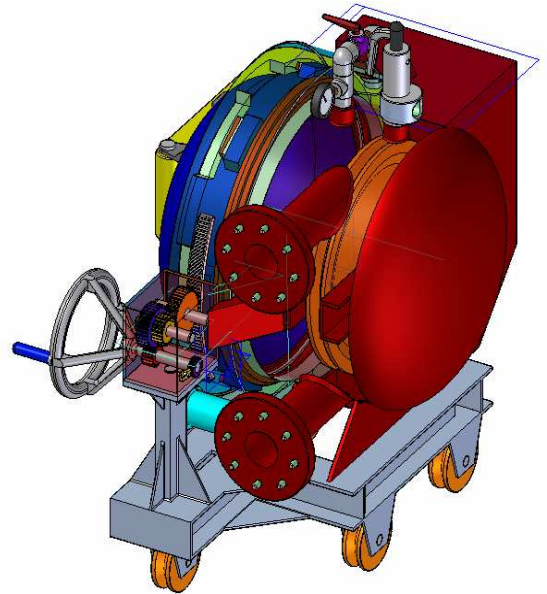


Ilustración 19. Tercera vista principal de la autoclave



12. CONCLUSIONES

La metodología para el diseño de dispositivos mecatrónicos permite optimizar el proceso de desarrollo de un producto porque se puede agrupar muchas disciplinas de manera concurrente teniendo en cuenta las necesidades de diseño, restricciones como el costo, y sinergia entre la funcionalidad con la buena estética y ergonomía del producto logrando así ahorro de tiempo y esfuerzo de los diseñadores.

La definición de la arquitectura de este producto fue crucial para tener la posibilidad de realizar múltiples implementaciones al sistema, además de ofrecer ventajas a la hora de nuevas reformas o rediseños con el fin de mejoras complementarias.

Se siguieron los parámetros del diseño industrial, buscando garantizar las probabilidades de éxito para el producto, dirigiéndolo al sector industrial de manera que tenga un buen impacto industrial, con el fin de garantizar su reconocimiento y preferencia.

La elaboración de prototipos en la fase de prototipado, permitió asentar determinados conceptos, además de establecer algunas interacciones incidentales no previstas en fases anteriores.

Finalmente se entrega el prototipo gráfico en 3D, con sus respectivos planos y figuras para el desarrollo y construcción de la máquina como tal, también al fabricante se les deja sus respectivas recomendaciones de trabajo para la construcción de la AUTOCLAVE.

RECONOCIMIENTOS

Agradecimientos muy sinceros a todos los profesores que aportaron sus conocimientos durante nuestra formación académica.

A nuestro director JIMMY TOMBE, al Ingeniero Carlos Castrillón por sus aportes en el proyecto.

REFERENCIAS

Actuador neumático rotativo doble efecto - FESTO - Directindustry, Actuador neumático rotativo doble efecto Typ DRD [en línea]. Germany : Direct Industry, 2005. [consultado el 10 de agosto del 2006]. Disponible en Internet : <http://www.festo.com>

Eurotherm/Barber-colman 2408/2404 High Stability Temperature controller/Programmers interne, 2408(f) and 2404(f) High Stability Temperature and Process Controller/Programmer [en línea] Germany : Eurotherm limited, 2006. [consultado 14 de julio del 2006]. Disponible en Internet : <http://www.eurotherm.com>

HISTAND, Michael B. y ALCIATORE, David G. Introduction to Mechatronics and Measurement Systems. New York : McGraw Hill, 1999. 400 p.

NORTON, Robert L. Diseño de Máquinas. México: Prentice Hall, 1999. 1048 p.

Siemens - Process Instrumentation - Positioners (SIPART PS2.Positioner), SIPART PS2 [En línea]. san luiz : SIEMENS, 2006 [Consultado el 16 de agosto del 2006]. Disponible en Internet : <http://www.siemens.com>

Vulcanizing Autoclave Systems, material Handling Equipment - WSF industries, inc, Vulcanizing Autoclave Systems for the Rubber Industry [en línea]. USA: WSF Industries inc, 2003. [consultado el 3 de agosto 2006]. Disponible en internet : <http://www.wsf-industries.com>

West Coast Engineering group pioneers a New Approach for Analyzing free- standing structures wit : Dynamic Analysis with Damping for Free-Standing Structures Using Mechanical Event Simulation. Ioan Giosan Grupo del oeste Ltd, 2000. [con sultado 10 de octubre del 2006]. Disponible en Internet : <http://www.algor.com>